

# **O uso da Deteção Remota para a extração de Indicadores Urbanos**

**Inês de Castro Silva Miranda Pedro**

**Dissertação de Mestrado em Gestão do Território com área de  
especialização em Deteção Remota e Sistemas de Informação  
Geográfica**

**Tese corrigida e melhorada após a sua defesa pública**

**Outubro, 2014**

Dissertação apresentada para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção  
do grau de Mestre em Gestão do território com área de especialização em  
Detecção Remota e Sistemas de Informação Geográfica, realizada sob a orientação  
científica de Doutora Teresa Santos e co-orientação do Professor Doutor José  
António Tenedório

*Aos meus pais, à Beatriz e ao Luís*

## **AGRADECIMENTOS**

À Doutora Teresa Santos por todo o apoio, motivação, disponibilidade, esclarecimento de dúvidas e por todos os conhecimentos transmitidos durante a realização da dissertação. Foi um apoio fundamental e com a sua orientação e total disponibilidade foi possível obter os resultados esperados. Um especial agradecimento por todos os conhecimentos que me transmitiu ao longo destes meses, que foram essenciais para complementar a minha formação como mestre.

Ao Professor Doutor José António Tenedório pelas orientações, atenção e partilha de conhecimentos e experiência que conduziram a dissertação ao resultado final esperado.

Ao E-geo pela disponibilidade na utilização das instalações e a todos os bolsiros pelo apoio demonstrado.

À Câmara Municipal de Lisboa e em especial à Doutora Rosa Branco, à Arquitecta Fátima Leitão e ao Engenheiro Souto Cruz pela forma que acolheram o meu projeto de investigação, pelas seções de esclarecimento e pelos dados disponibilizados.

Aos meus pais, à Beatriz, ao Luís, aos meus amigos mais próximos e a toda a minha família pela paciência e motivação que me transmitiram.

# **O USO DA DETEÇÃO REMOTA PARA A EXTRAÇÃO DE INDICADORES URBANOS**

**INÊS DE CASTRO SILVA MIRANDA PEDRO**

## **RESUMO**

**PALAVRAS-CHAVE:** Detecção Remota, Sistemas de Informação Geográfica, Indicadores Urbanos 2D e 3D, Áreas verdes, Volume construído

Nas últimas décadas o aumento da expansão das áreas urbanas conduziu a rápidas mudanças nos ambientes urbanos. Estas mudanças necessitam de uma observação e compreensão, por forma a permitir a monitorização e avaliação do processo de planeamento urbano. A utilização de dados obtidos por Detecção Remota (DR), aliada aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), surge como uma fonte de informação válida para modelar, recolher, armazenar, exibir e analisar os sistemas urbanos. Neste contexto, a informação planimétrica e altimétrica recolhida por sensores remotos pode ser explorada por forma a extrair informação acerca do uso e ocupação do solo, e apresenta-la sob a forma de indicadores para apoio à decisão. Um sistema de indicadores urbanos baseados em dados obtidos por DR constitui uma ferramenta para as cidades transmitirem os diferentes riscos urbanos bem como na promoção de medidas e estratégias para um eficiente planeamento urbano. A dissertação de mestrado proposta tem como principal objetivo a criação de um sistema de indicadores urbanos que caracterize a cidade de Lisboa ao nível das áreas verdes e do volume construído.

Assim, de forma a atingir o objetivo principal é desenvolvida uma metodologia baseada em informação altimétrica e planimétrica que permite analisar as áreas verdes da cidade de Lisboa bem como o volume construído. A informação altimétrica urbana (3D) é derivada de dados cartográficos oficiais (curvas de nível que originam um Modelo Digital de Terreno) e informação recolhida por LiDAR (*Light Detection And Ranging*) (que representa o Modelo Digital de Superfície). A informação 2D é extraída

de uma imagem do satélite de alta resolução Worldview-2 de 2010, com um pixel de 0,5m, do concelho de Lisboa, através de técnicas de processamento digital de imagem. A informação recolhida permite, por um lado a modelação 3D do edificado, e por outro a quantificação 2D da cobertura vegetal em meio urbano. Posteriormente, num ambiente SIG, a informação extraída é cruzada com dados censitários e dados de uso e ocupação do solo. A análise ocorre tendo por base as Subsecções Estatísticas (SSE) da cidade de Lisboa (INE, 2011) e o sistema proposto inclui assim a extração de indicadores divididos tematicamente em indicadores de área e indicadores de volume. Os resultados obtidos permitem relacionar as áreas verdes, a população e o volume construído.

# **USING REMOTE SENSING TO EXTRACTION URBAN INDICATORS**

**INÊS DE CASTRO SILVA MIRANDA PEDRO**

## **ABSTRACT**

**KEYWORDS:** Remote Sensing, Geographic Information System (GIS), Urban, 2D and 3D urban Indicators, Green Spaces, Built Volume

In the last few decades, the increase in the urban expansion has led to rapid changes in urban environments. This change require observation and understanding to enable monitoring and assessment of urban planning process. Remote Sensing (RS) data and Geographic Information Systems (GIS) are a valid information source to model, collect, store, display and analyse urban systems. In this context, the planimetric and altimetric information collected through remote sensing can be explored to extract information about the land use and occupation, and present it in the form of a decision support indicator. A system of urban indicators based on data collected through remote sensing is a tool to transmitting different urban risks and promoting measures and strategies for efficient urban planning in the cities. The proposal master dissertation aims to create a system of urban indicators that characterize the green areas and the built volume in Lisbon city.

A methodology based on altimetric and planimetric information to analyze the green areas and the volume built of the Lisbon city is developed. Urban altimetry data (3D) is derived from official cartographic data (Digital Terrain Model- DSM) and information collected through LiDAR (Light Detection And Ranging) (representing the Digital Surface Model- DSM). The 2D information is extracted through digital imaging processing techniques from a municipality of Lisbon image. This image is high resolution and comes from satellite Worldview-2, 2010, with a pixel of 0,5 m. The

information collected enables modelling of the built 3D and quantification 2D of vegetation cover in urban areas. Later, the information extracted is crossed with census data and use and occupation of land data in a GIS environment. The analysis is based on the statistical subsections of Lisbon (INE, 2011) and the proposed system includes the extraction of indicators thematically divided in area indicators and volume indicators. The results relate the green areas, the population and the built volume.



## INDICE

INTRODUÇÃO .....	1
CAPÍTULO1: PROBLEMATIZAÇÃO- ESTADO DA ARTE E CONCEITOS FUNDAMENTAIS .....	4
1.1. O uso da Detecção Remota e dos Sistemas de Informação Geográfica nas áreas urbanas.....	4
1.2. Espaços verdes nas áreas urbanas.....	7
1.3. Extração de informação urbana através de DR .....	10
1.4. Indicadores urbanos 2D e 3D .....	17
CAPÍTULO 2: ÁREA DE ESTUDO E DADOS .....	22
2.1. Caracterização da área de estudo.....	22
2.2. Base de Dados.....	23
2.2.1 Dados Planimétricos .....	24
2.2.2 Dados Altimétricos.....	25
2.2.3. Dados Espectrais.....	26
CAPÍTULO 3: METODOLOGIA PARA A EXTRAÇÃO DE INDICADORES URBANOS A PARTIR DE DADOS DE DETECÇÃO REMOTA .....	27
3.1. Extração da Área de Vegetação e Não-Vegetação .....	28
3.1.1. Análise de Qualidade .....	29
3.2. Cálculo do Volume dos Edifícios.....	32
3.3. Cálculo dos indicadores .....	32
3.3.1 Indicadores de área .....	33
3.3.2. Indicadores de Volume.....	36
3.3.3. Sistema de indicadores.....	37
CAPITULO 4: EXTRAÇÃO DE INDICADORES URBANOS: ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	41
4.1. Área de Vegetação.....	41
4.2. Área de Não-Vegetação.....	44
4.3. Vegetação <i>per capita</i> .....	46
4.4. Áreas Verdes Sem Acesso Público (AVSAP) .....	49
4.5. Carência de Espaços Verdes por Área de Não-Vegetação (%).....	54

4.6. AVSAP <i>per capita</i> .....	51
4.7. Volume construído <i>per capita</i> .....	57
4.8. Relação Volume Construído- Espaços verdes (%) .....	61
4.9. Relação Volume Construído- Carência de Espaços Verdes.....	64
4.10. Relação Volume Construído- AVSAP (%) .....	66
4.11. Discussão dos resultados.....	67
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	72
LISTA DE FIGURAS .....	79
LISTA DE TABELAS .....	80

## LISTA DE ABREVIATURAS

AVSAP	Áreas Verdes Sem Acesso Público
BCR	<i>Building Coverage Ratio</i>
BGRI	Base Geográfica de Referência de Informação
CCDR-LVT	Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo
CML	Câmara Municipal de Lisboa
DEM	<i>Digital Elevation Model</i>
DGOTDU	Direção-Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano
DGT	Direção Geral do Território
DR	Deteção Remota
DSM	<i>Digital Surface Model</i>
DTM	<i>Digital Terrain Model</i>
EUS	<i>Ecological Urban Structure</i>
EVU	Espaço Verde Urbano
FAR	<i>Floor Area Ratio</i>
FCI	<i>Forest and Crop Index</i>
GI	<i>Geometrical Index</i>
INSAR	<i>Synthetic Aperture Radar Interferometry</i>
LiDAR	<i>Light Detection And Ranging</i>
MBI	<i>Morphological Building Index</i>
MSI	<i>Morphological Shadow Index</i>
nDSM	<i>Normalized Digital Surface Model</i>

NDBSI	<i>Normalized Difference Bare Soil Index</i>
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
NDWI	<i>Normalized Difference Water Index</i>
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Europeu
PDM	Plano Diretor Municipal
SIG	Sistemas de informação Geográfica
SS	Secção estatística
SSE	Subsecção Estatística
TIN	<i>Triangulated Irregular Network</i>
VHR	<i>Very High Resolution</i>
WV-2	<i>Worldview 2</i>

## INTRODUÇÃO

As cidades são sistemas complexos e dinâmicos que constituem um desafio para o planeamento urbano. Integrar e correlacionar múltiplas ferramentas de análise (algoritmos de processamento digital de imagem, análise espacial em Sistemas de Informação Geográfica - SIG), tipos de dados (dados matriciais, vetoriais, alfanuméricos) e fontes de dados (observação da Terra, inquéritos, entrevistas ou censos) é um passo importante no sentido de aumentar a qualidade do conteúdo da informação e a sua aceitação por quem toma as decisões (Santos *et al.*, 2013). Neste contexto, e em torno desta problemática o Centro de Estudos de Geografia e Planeamento Regional, e-GEO, tem desenvolvido diversos estudos que conduzem ao conhecimento aprofundado das áreas urbanas. Estes estudos seguem uma visão quantitativa, cujo objetivo centra-se na extração de informação temática seja para a formalização do crescimento urbano (Silva, 2012; Encarnação, 2011), para estudos de eficiência energética (Gomes, 2011; Brito *et al.*, 2012; Santos *et al.*, 2014), para a produção de indicadores sobre o meio urbano (Santos, 2011, 2013; Rebelo *et al.*, 2013), quantificação de alterações de uso e ocupação do solo (Santos, 2011; Freire *et al.*, 2014) ou para análises de riscos (Freire, 2010; Freire e Aubrecht, 2010; Freire e Gomes, 2013).

De acordo com Gomes (2011), a união de dados LiDAR (*Light Detection And Ranging*) e imagens de alta resolução espacial traz novas ferramentas para a solução de problemas presentes no território, constituindo um apoio relevante às tomadas de decisão, em termos de planeamento e urbanismo. O desenvolvimento de modelos urbanos tridimensionais a partir de dados LiDAR é assim um exemplo. A possibilidade de conseguir modelar o edificado e a sua interligação com dados estatísticos permite a identificação de novas realidades suscetíveis de serem estudadas e novos problemas passíveis de serem solucionados (Gomes, 2011). Um trabalho desenvolvido por Santos *et al.* (2013), defende que “os indicadores urbanos são ferramentas eficientes para simplificar, quantificar e comunicar informações relevantes para quem toma as

decisões de planeamento”. Os autores concluem que uma importante fonte de informação sobre o estado da Terra são as imagens obtidas por meio de Detecção Remota (DR) que posteriormente aliadas a técnicas de processamento digital de imagens permitem extrair detalhes temáticos que podem ser utilizados para construir indicadores urbanos.

Numa perspetiva de continuidade na procura de conhecimentos e de complementaridade dos projetos desenvolvidos, a presente dissertação tem como objetivo principal a criação de um sistema de indicadores urbanos obtidos através da análise do volume construído bem como das áreas verdes da cidade de Lisboa a partir de dados de DR. Com base na questão-chave que, para um correto planeamento e gestão do território o conhecimento do estado do uso/ocupação do solo constitui informação de base, é desenvolvida uma metodologia para extração de indicadores. Neste âmbito são utilizadas imagens de DR uma vez que estas podem ser exploradas por forma a extrair informação e apresenta-la sobre a forma de indicadores para apoio à decisão. Através da metodologia proposta é possível extrair informação do tipo 2D e 3D que permite construir um sistema de indicadores dividido tematicamente em indicadores de área e de volume. Através destes indicadores, as Secções (SS) e Subsecções Estatísticas (SSE) de Lisboa serão caracterizadas no que respeita ao seu edificado e áreas verdes.

A informação altimétrica urbana (3D) é derivada de dados cartográficos oficiais da cidade de Lisboa (curvas de nível que originam um Modelo Digital de Terreno – *Digital Terrain Model* - DTM) e informação recolhida por LiDAR (que representa o Modelo Digital de Superfície- *Digital Model Surface*- DSM). A informação 2D é extraída de uma imagem do satélite de alta resolução Worldview-2 (WV-2) de 2010, do concelho de Lisboa, através de técnicas de processamento digital de imagem. A informação recolhida permite deste modo a modelação 3D do edificado, e 2D das áreas de vegetação e não-vegetação, e subsequente extração de informação temática sobre a forma de um sistema de indicadores urbanos.

Neste contexto, e de acordo com o objetivo principal, a dissertação apresenta a seguinte estrutura:

Capítulo 1- Apresentação da problemática através da análise do estado da arte e dos conceitos fundamentais para compreensão da investigação desenvolvida.

Capítulo 2- Caracterização dos dados utilizados para extração de indicadores urbanos e da área de estudo onde a metodologia proposta será aplicada.

Capítulo 3- Apresentação e aplicação da metodologia proposta para extração de indicadores urbanos.

Capítulo 4- Análise dos resultados dos indicadores extraídos. Apresentação dos valores e dos mapas e respetiva análise correspondente a cada indicador.

## **CAPÍTULO1: PROBLEMATIZAÇÃO- ESTADO DA ARTE E CONCEITOS FUNDAMENTAIS**

### **1.1. O uso da Detecção Remota e dos Sistemas de Informação Geográfica nas áreas urbanas**

As cidades são os centros da economia, da política, da sociedade, da cultura e onde maior parte da população mundial reside. A constante urbanização e as rápidas mudanças nos ambientes urbanos envolvem assim desafios no que diz respeito à observação, análise e compreensão dos processos que afetam e formam estas áreas (Esch *et al.*, 2010). Monitorizar e avaliar as mudanças em meio urbano é assim um desafio para o planeamento urbano. Os urbanistas necessitam na sua actividade diária de informação como a área verde *per capita*, os locais onde o congestionamento do tráfego pode ser melhorado, a evolução dinâmica da atividade de construção de edifícios, o resultado da implementação de estratégias regionais/locais, identificação espacial e temporal dos padrões de expansão urbana ao longo do tempo, entre outras.

Como consequência, a investigação tem-se concentrado em novos conceitos e técnicas para obter informação atualizada sobre os sistemas urbanos. Neste contexto, a maior parte da informação relevante para a gestão urbana é obtida através de imagens obtidas por DR (Esch *et al.*, 2010).

A DR é uma técnica de recolha de dados que nas últimas três décadas tem sido usada para providenciar informação das áreas urbanas para questões de análise e planeamento (Xiao e Zhan, 2009). Os dados de DR podem ser usados para extrair informação do uso/ocupação do solo através da observação da sua ocupação (Rozenstein e Karnieli, 2011), oferecendo uma cobertura espacialmente consistente de grandes áreas com elevado detalhe.

Os avanços recentes nas tecnologias de satélite levaram a um avanço nas tecnologias de DR. Atualmente, as imagens captadas por satélite apresentam vantagens relativamente a imagens adquiridas através de sensores instalados em aviões, nomeadamente a facilidade de aquisição de grandes áreas, com grande resolução espacial e a custo relativamente baixo.



Com o desenvolvimento da tecnologia verificou-se ainda o aumento da resolução espacial<sup>1</sup> e espectral<sup>2</sup> das imagens e o aparecimento do varrimento laser a três dimensões (LiDAR), sendo assim esperado que a DR seja amplamente utilizada em todo o processo de planeamento urbano (Xiao e Zhan, 2009).

O uso do LiDAR em meio urbano é uma área de estudo relativamente nova, no entanto, os seus avanços recentes são promissores na caracterização tridimensional da superfície, uma vez que a obtenção deste tipo de informação sobre a forma urbana é um processo que exige ainda muita intervenção manual. O LiDAR torna possível a classificação automática dos atributos da forma urbana, uma vez que captura não só da distribuição espacial dos elementos da cidade (i.e. edifícios e árvores), mas também a sua morfologia (i.e., altura, área e consequentemente o volume) (Van der Laan, 2009).

O sistema LiDAR é um sistema ativo, baseado na emissão de um feixe laser. As distâncias dos objectos medem-se pela contabilização do tempo que decorre entre a emissão, reflexão por parte da superfície terrestre e chegada do mesmo feixe ao sensor. O pré-processamento dos dados LiDAR é composto por duas etapas: em primeiro lugar os dados devem ser filtrados para diminuir o ruído, corrigidos diferencialmente e montados em linhas de voo por camadas de retorno; em segundo lugar os dados laser podem ser submetidos a uma análise mais aprofundada para obter as grelhas finais dos produtos relativos aos modelos digitais de elevação das cidades usando a interpolação (Elaksher e Bethel, 2002).

As imagens de alta resolução espacial (*Very High Resolution – VHR*) caracterizam-se por um tamanho de pixel maior ou igual a 1 metro. Deste modo, a recolha de informação detalhada acerca do uso e ocupação do solo, essencial para aplicações relacionadas com o planeamento local e gestão

---

<sup>1</sup> Define-se resolução espacial como a mais pequena unidade de distância que pode ser discriminada numa medição (Fonseca e Fernandes, 2004). A resolução espacial é uma função da altura do sensor, tamanho do detetor, tamanho focal e da configuração do sistema (Weng, 2012).

<sup>2</sup> A resolução espectral é a amplitude dos intervalos de comprimento de onda nos quais a radiação eletromagnética é registada (Fonseca e Fernandes, 2004). As características espectrais incluem o número, localização e largura das bandas espectrais de um sensor. (Weng, 2012).

urbana, já pode ser adquirida através de imagens de satélite VHR. As imagens são assim a fonte primária de informação espectral que através da aplicação de algoritmos de processamento digital de imagens, tornam possível a produção de mapas temáticos que permitem realizar análises detalhadas sobre a superfície urbana (Herold *et al.*, 2003).

As imagens de DR representam ainda uma fonte de informação independente (Esch *et al.*, 2010) que ao integrar e correlacionar com múltiplas ferramentas de análise, tipos e fontes de dados aumentam a qualidade do conteúdo da informação geográfica sobre a ocupação do solo, e deste modo a sua aceitação por quem toma decisões (Santos *et al.*, 2013).

No entanto, segundo Donnay *et al.* (2001) o potencial operacional da DR em espaço urbano depende da sua capacidade para responder às necessidades práticas dos profissionais que trabalham em urbanismo e a rapidez com que estes conseguem integrar dados de DR nas suas atividades. Neste contexto, a DR em espaço urbano deve ser capaz de fornecer ao planeador um conjunto de dados fundamentais que são pertinentes em áreas urbanas, nomeadamente:

- A localização e a extensão da área urbana;
- A natureza e a distribuição espacial das diferentes categorias do uso/ocupação do solo dentro das áreas urbanas;
- As redes de transportes e as infra-estruturas relacionadas;
- A variação das estatísticas relacionadas com os censos e os indicadores socio-economicos;
- A estrutura 3D das áreas urbanas relativamente as telecomunicações e os estudos de impacto ambiental;
- E a capacidade de monitorizar as mudanças do referido anteriormente ao longo do tempo.

Neste contexto, as imagens de DR podem ser exploradas por forma a extrair informação acerca do uso/ocupação do solo, e apresenta-la sobre a forma de indicadores para apoio à decisão. Através de análise de imagens de DR e das ferramentas que os SIG disponibilizam é então possível extrair

indicadores como rácios de áreas, área verde *per capita*, área impermeável *per capita*, e informação relativa a organização espacial da cidade, a evolução dinâmica da atividade de construção civil, o número de pisos dos edifícios, o volume dos edifícios, entre outros.

## **1.2. Espaços verdes nas áreas urbanas**

Dunnet *et al.* (2002) definem Espaços Verdes Urbanos (EVU) como a área terrestre que é constituída predominantemente de solos permeáveis, tais como relva, arbustos e árvores; é o termo aplicado genericamente a todas essas áreas sejam ou não acessíveis ao público, ou de gestão pública. Inclui todas as áreas de parques, áreas de lazer e outros espaços verdes destinados especificamente para uso recreativo. Dunnet *et al.* (2002) referem que os benefícios que os EVU proporcionam podem ser classificados de várias maneiras, no entanto, é comum dividi-los em três grandes categorias: benefícios sociais, ambientais e económicos.

O autor menciona que estas três categorias de benefícios oferecem aos cidadãos o contacto com a natureza, proporcionam o incremento da saúde física e mental e oferecem uma ampla gama de oportunidades educacionais para todas as faixas etárias. Contribuem para a preservação da paisagem e do património cultural, para a melhoria da qualidade do ar urbano e melhoraria do clima urbano, e para a redução dos níveis de ruído. E podem ainda ajudar na atração de investimento estrangeiro, na criação de oportunidades de emprego, no apoio ao turismo e no aumento do valor das propriedades nas proximidades. Segundo Madureira (2012), atualmente a procura para potenciar a multifuncionalidade dos EVU estimula estratégias de planeamento valorizadoras da sua diversidade tipológica e optimizadoras da sua configuração espacial de forma a promover a sua conectividade. Abordagens que enfatizam cada vez mais a necessidade de perspetivar o conjunto de áreas verdes como uma entidade coerente que salvaguarda a sua complexidade funcional e espacial. Nesta perspetiva, James *et al.* (2009) mencionam a importância de

identificar a localização, a estrutura, a composição e a configuração espacial destes espaços, uma vez que se revelam critérios fundamentais para a qualidade e diversidade das funções disponibilizadas pelos mesmos.

Em Lisboa, segundo o artigo 14 do regulamento da revisão do Plano Diretor Municipal (PDM) de 2012, os espaços verdes são determinados como os espaços que integram a estrutura ecológica integrada e cujas características naturais, culturais, paisagísticas e urbanísticas devem ser preservadas e valorizadas com o fim de assegurar um conjunto de funções de equilíbrio ecológico no meio urbano e o apoio a atividades de recreio e lazer da população. Para entender a tipologia destes espaços verdes, e visto que estes integram a estrutura ecológica municipal, é necessário em primeiro lugar perceber qual o papel da mesma. Assim, a estrutura ecológica municipal segundo o artigo 11º do capítulo III do regulamento mencionado anteriormente, visa assegurar a continuidade e complementaridade dos sistemas naturais no território urbano, a sustentabilidade ecológica e física do meio, as funções dos sistemas biológicos, a biodiversidade, o controlo dos escoamentos hídricos e circulação do vento, o conforto bioclimático e a valorização do património paisagístico. A estrutura ecológica municipal é constituída pela estrutura ecológica fundamental e pela estrutura ecológica integrada.

A estrutura ecológica fundamental define uma estratégia de valorização e salvaguarda dos sistemas naturais fundamentais que, em articulação com a rede ecológica definida à escala metropolitana, estabelece as matrizes do sistema de corredores estruturantes, do sistema húmido e do sistema de transição fluvial-estuarino e encontra-se assinalada na Planta da Estrutura Ecológica Municipal. Por sua vez, a estrutura ecológica integrada decorre da estrutura ecológica fundamental e inclui os espaços verdes e os logradouros verdes permeáveis a preservar identificados na Planta da estrutura ecológica municipal e na Planta de Qualificação do Espaço Urbano. Inclui ainda os espaços verdes de enquadramento a áreas edificadas e os eixos arborizados assinalados na Planta da estrutura ecológica municipal e tem como objetivo

uma articulação entre os sistemas naturais e culturais e a sua gestão numa perspetiva sustentável e integrada do território municipal.

Os Logradouros constituem-se como espaços de desafogo urbano que podem funcionar como reservas de biodiversidade. Estes espaços são fundamentais na infiltração de águas pluviais e são considerados os espaços verdes de uso privado no interior da malha urbana (Tabela 1). Estes espaços podem ser considerados como áreas verdes com restrição ao público em geral, uma vez que na sua maioria localizam-se em áreas privadas correspondendo aos jardins privados.

Tabela 1- Tipologia dos espaços verdes de Lisboa

<b>Estrutura ecológica Municipal</b>	<b>Estrutura ecológica fundamental</b>	Sistema de corredores estruturantes
		Sistema húmido
		Sistema transição fluvial estuarino
	<b>Estrutura ecológica integrada</b>	Espaços verdes de recreio e produção
		Espaços verdes de proteção e conservação
		Espaços verdes de enquadramento a infraestruturas viárias
		Espaços ribeirinhos
		Espaços verdes de enquadramento a áreas edificadas
		Logradouro verde permeável a preservar

No que diz respeito aos espaços verdes privados, Cameron *et al.* (2012) denominam de jardins domésticos e definem- como a área verde adjacente a uma habitação doméstica pertencente à propriedade ou arredamento privado, referindo que estes representam uma componente significativa na estrutura verde urbana. Mathieu *et al.* (2007) citam que os jardins geralmente

constituem a maior componente da vegetação urbana. No entanto, são desconhecidos devido às dificuldades inerentes à obtenção de dados ecológicos sobre jardins e à falta de uma metodologia para a classificação e análise de dados para os mesmos.

### **1.3. Extração de informação urbana através de DR**

As imagens VHR devido às suas características espaciais constituem uma fonte de dados para a identificação de classes de uso e ocupação do solo em meio urbano. Porém, a elevada quantidade de informação espectral aliada ao grande detalhe espacial, representa um desafio relativamente às técnicas tradicionais de extração de informação em imagens. As abordagens tradicionais baseadas apenas na informação espectral são pouco adequadas para discriminação entre as classes espectralmente semelhantes tais como edifícios ou solos expostos, estradas ou estacionamento (Blaschke e Strobl, 2001),

Neste sentido, ao longo dos últimos anos, têm sido testadas metodologias que utilizam imagens VHR para extração de informação urbana.

- Doesburg e Marques (2013) apresentam um estudo onde é identificada, quantificada e comparada a vegetação existente na cidade de Lisboa com o Plano da Estrutura Ecológica Urbana (Ecological Urban Structure Plan- EUS) definido pelo município. Esta vegetação é investigada, avaliada e monitorizada a sua evolução com imagens dos últimos 7 anos e contextualizada nos novos planos de urbanização para a cidade. No que se refere aos dados os autores utilizaram imagens VHR dos satélites Quickbird e WV-2, dados topográficos, mapas do PDM de Lisboa de 1994 e 2012, levantamentos fotográficos e dados de visitas de campo estratégicas. Para a análise da vegetação foram usados os dados originais dos satélites Quickbird e WV-2 e a partir das bandas destas foi calculado o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index – NDVI*). Ao NDVI foi aplicada uma classificação supervisionada e obtida a diferença entre os pixels de

vegetação e de não-vegetação. Os resultados do estudo mostram que:

- a) a partir da imagem NDVI de 2005 e dos dados do PDM de 1994 pode observar-se que 730 ha de vegetação corresponde ao Parque Florestal de Monsanto, 860 ha diz respeito a outros parques e corredores verdes e que 33% da área total da vegetação da cidade é vegetação “marginal”;
- b) comparando a imagem NDVI de 2005 e de 2010 verifica-se a redução da vegetação “marginal”, e que numa perspetiva de planeamento urbano nota-se que há uma série de mudanças, por exemplo, a aprovação do novo PDM em conjunto com a nova Estrutura Ecológica Urbana;
- c) sobrepondo a imagem NDVI de 2010 com o PDM de 1994 observa-se uma quantidade considerável de vegetação “marginal”;
- d) Analisando a sobreposição da imagem de NDVI de 2010 com a Estrutura Ecológica urbana de 2012 conclui-se que a vegetação “marginal” diminuiu pelo que o plano da Estrutura Ecológica urbana é um grande passo na preservação dos recursos naturais e na construção de corredores verdes.

- Zhou *et al.* (2012) destacam a potencial vantagem na utilização da imagem VHR do WV-2 uma vez que providencia um maior detalhe num mapa da cobertura do solo a nível local. Os autores procuram classificar uma imagem WV-2 através de um método de análise orientado para o objeto e obter um mapa detalhado da cobertura do solo. Os dados utilizados foram uma imagem WV-2 de Szekesfehervar na Hungria. Com o objetivo de tirar vantagens da informação espacial e espectral foi adotada uma abordagem baseada no objeto. Para segmentar as imagens do WV-2 foram utilizadas as oito bandas da imagem e, com base numa análise de tentativa e erro, foram criados dois níveis de camadas de objetos. De acordo com a curva média espectral foram criados três índices de diferença normalizada: o Índice de Diferença Normalizada de Solo Descoberto (*Normalized Difference Bare Soil Index-NDBSI*), o Índice de Diferença Normalizada da Água (*Normalized Difference Water Index -NDWI*), o NDVI e Índice de Floresta e Culturas

(*Forest and Crop Index- FCI*). Estes índices posteriormente foram utilizados para distinguir as classes de água e de terra (NDWI), para separar a vegetação de outras coberturas do solo (NDVI), para separar a área urbana e o solo exposto (NDBSI). De forma a perceber o grau de exatidão entre a classificação e as características reais do solo, no final foi feita uma avaliação da precisão do método através de uma matriz de confusão. A matriz demonstrou assim que nove classes foram classificadas com sucesso, com uma exatidão global de 79,4%. Mais de cinco classes apontam uma precisão de classificação de 85% e a classe da água de 100%. Os resultados obtidos permitiram os autores concluir que quando são utilizadas as bandas adicionais que o WV-2 dispõe em todo o processo de classificação, as classes espectralmente semelhantes são distinguidas mais facilmente e é possível desenvolver novos recursos de análise como o NDBSI.

- Huang e Zhang (2012) utilizaram imagens VHR para extração automática dos edifícios, através do Índice de Construção Morfológico (*Morphological Building Index- MBI*). O MBI permite relacionar as características implícitas dos edifícios (i.e. o brilho, o tamanho e contraste) e os operadores morfológicos (i.e. direção). Os autores propõem uma estrutura sistemática para extração de edifícios a partir de uma imagem Ikonos de Washington DC e de uma imagem WV-2 de Hangzhou na China. Assim, é proposto um Índice de Sombra Morfológico (*Morphological Shadow Index- MSI*) para a extração automática da sombra de uma imagem, uma vez que estas estão espacialmente adjacentes ou perto dos edifícios estando na base de alguns erros de comissão. Para remover o ruído como as estradas os autores definem um Índice Geométrico (*Geometrical Index- GI*) que representam as características geométricas dos edifícios (i.e. relação comprimento-largura). É ainda calculado o NDVI para reduzir os erros de comissão da vegetação brilhante. O sistema de extração de edifícios proposto é então baseado nos quatro índices espaciais e espectrais



acima mencionados (MSI, MBI, GI e NDVI). Os resultados experimentais revelaram que o método proposto foi capaz de reduzir simultaneamente os erros de omissão e comissão, sendo esta conclusão apoiada nos resultados da avaliação da precisão do método. No conjunto de dados da imagem Ikonos, a exatidão global da extração de edifícios aumentou de 90% para 94%, enquanto os dados da imagem WV-2 aumentou de 70% e 88% para 91%.

- Mathieu *et al.* (2007) apresentam dados de um estudo realizado na cidade de Dunedin, Nova Zelândia. Estudo esse que desenvolveu uma metodologia usando técnicas de classificação orientadas para o objeto para mapear automaticamente a extensão, distribuição e densidade dos jardins privados da cidade usando uma imagem VHR Ikonos de 2005. Através da aplicação desta metodologia os autores puderam concluir que ocorreu alguma confusão entre as classes de jardim, pelo que não foi possível mapear as várias classes com o nível de precisão que é normalmente esperado. No entanto, os resultados mostraram que há potencial para distinguir os jardins com base na sua complexidade estrutural. Através da avaliação da precisão do método concluíram ainda que a precisão foi de cerca de 55%, tendo ocorrido confusão principalmente entre as classes tematicamente semelhantes. Apesar disto, os resultados obtidos indicaram o potencial que a metodologia detém como um método rápido para a obtenção de dados ecológicos de qualidade em áreas urbanas.

Aliado à exploração da informação espectral disponível nas imagens, a inclusão de outro tipo de dados, como os obtidos por varrimento laser, tem sido uma abordagem recente, com melhorias no processo de extracção de informação temática sobre o meio urbano (Santos, 2011). Carneiro *et al.* (2010) referem que a atual disponibilidade de informação 3D sobre as cidades oferece a possibilidade de analisar o tecido urbano de uma forma muito inovadora, tendo recebido maior atenção nos últimos anos a utilização de dados LiDAR juntamente com imagens digitais para modelação e visualização urbana.

Segundo Gomes (2011), existem quatro tipos de tecnologias que permitem a obtenção da informação necessária para a criação de modelos de elevação digital: levantamento de campo através de ferramentas convencionais ou GPS (*Global Positioning System*) que permitem a aquisição das coordenadas x, y e z; fotogrametria; técnica INSAR (*Synthetic Aperture Radar Interferometry*) que mede a topografia de uma superfície e as suas mudanças ao longo do tempo; e a tecnologia LiDAR que fornecesse dados de elevação de alta precisão. Assim, para obter um modelo urbano 2,5/3D baseado em dados LiDAR podem ser utilizadas diversas abordagens de interpolação. Alguns autores baseiam as suas abordagens no DSM normalizado (*Normalized Digital Surface Model*- nDSM), enquanto outros baseiam-se no DTM.

- Santos e Freire (2013) para a criação de um mapa de uso/ocupação do solo para a cidade de Lisboa desenvolvem uma metodologia orientada para o objeto para a extração de classes temáticas como vegetação, o solo e as superfícies impermeabilizadas a partir de imagens VHR Ikonos-2 de 2008 e dados LIDAR de 2006. A imagem Ikonos-2 é ortoretificada a partir de um DTM. Posteriormente, ao DSM obtido pelo voo LiDAR de 2006 é subtraído o DTM, obtendo-se assim o nDSM. Para extrair os três principais componentes do solo (vegetação, solo e solos impermeáveis) os autores utilizam uma classificação baseada numa abordagem supervisionada orientada para o objeto. O NDVI calculado a partir da imagem Ikonos-2, foi utilizado para extrair a classe da vegetação, e o nDSM a classe de solo e classe de superfícies impermeáveis (edifícios, estradas e outros solos impermeáveis). A partir da avaliação do método utilizado os autores concluem que o mapa produzido tem uma exatidão de 89%. Concluem ainda que, com aplicação da metodologia proposta baseada em imagens VHR, é possível a atualização rápida de informação detalhada da cobertura do solo que pode ser usada para apoiar decisões em situações de crise, em que os mapas oficiais estão geralmente desatualizados.

- Gozález-Aguilera *et al.* (2013) apresentam uma abordagem para análise urbana, usando dados LiDAR para obter informações geométricas (altura, área e consequentemente o volume), atributos da densidade urbana (índice de cobertura dos edifícios- *Building Coverage Ratio- BCR*) e rácio de áreas de piso- (*Floor Area Ratio- FAR*) na cidade de Ávila, em Espanha. Consideram que para a análise urbana, e que apesar de utilizarem o DTM e o DSM derivados do LiDAR, estes não são suficientes. Pelo que para uma extração precisa e confiável dos edifícios propõem duas abordagens: a reconstrução com base nos dados LiDAR originais (nuvens de pontos); e uma abordagem híbrida usando os dados LiDAR e imagem LiDAR para a reconstrução. Os autores referem que esta abordagem pode fornecer uma ferramenta útil para os agentes envolvidos nas questões urbanas, garantindo uma maior precisão e confiança nos resultados de análise urbana, otimizando os custos do planeamento urbano. A obtenção automática dos atributos geométricos e densidade urbana a partir de dados LiDAR é bem-sucedida devido: a) a natureza rápida e automatizada do processo, o que pode facilitar o desempenho de tarefas de monitorização das áreas urbanas; b) a precisão e exatidão das informações obtidas; 3) a capacidade de mapear áreas inacessíveis; 4) e a simplicidade e eficiência na deteção das mudanças urbanas verticais.
- Santos *et al.* (2013) num estudo de caracterização do volume urbano na cidade de Lisboa combinam dados LiDAR, informações topográficas e imagens de satélite para obter informação relativamente aos edifícios, para posteriormente produzir uma estrutura de índices urbanos volumétricos (3D) como o volume construído *per capita*, densidade volumétrica e heterogeneidade volumétrica. Para tal, utilizam os dados LiDAR e um DTM. Baseando-se na metodologia de Vozikis (2004), referem que o nDSM é obtido subtraindo o DTM ao DSM. O DSM é obtido através de um conjunto de dados LiDAR que correspondem a um *raster* que contem os valores de solo e dos objectos acima do solo (por

exemplo, árvores, edifícios, veículos, etc). O DTM tem origem numa TIN numa criada a partir de um conjunto de pontos altimétricos e curvas de nível recolhidos de cartografia oficial a grande escala. A subtração do DTM ao DSM permite a identificação dos objetos que se encontram acima do terreno. Para os autores o uso do LiDAR fornece uma forma viável e eficiente na obtenção de informações para grandes áreas da superfície terrestre com elevado detalhe espacial.

- Yu *et al.* (2010) utilizam dados LiDAR para produzir automaticamente o BCR e o FAR através de um método orientado para o objeto, para a cidade de Houston. Desenvolvem uma abordagem que consiste numa sequência de operações numéricas: a geração do nDSM, extração dos edifícios a partir dos atributos do mesmo, associação dos edifícios aos terrenos correspondentes e computação dos indicadores de densidade de construção. Os autores referem que o conhecimento científico da densidade de construção urbana é fundamental para uma inteligente gestão e planeamento do ambiente urbano. A tecnologia LiDAR fornece a capacidade obter de medidas de elevação terrestre precisas. Através do estudo na cidade de Houston, demonstram que nível de detalhe da informação relativa à densidade de construção pode ser extraído de forma automática e eficiente a partir de dados LiDAR.
- Santos (2011) foca o seu estudo na produção de informação geográfica atualizada para o processo de ordenamento do território. A metodologia proposta baseia-se no uso de imagens de satélite VHR, e outros dados digitais como dados LiDAR, em ambiente de SIG. Utiliza os dados LiDAR e um DTM, e através da subtração de ambos, o nDSM. Foram testados com sucesso os algoritmos orientados para o objeto para a extração de características do solo tendo em conta a variação de textura, cor e forma dos objetos na imagem, em quatro áreas da cidade de Lisboa. Os resultados revelam que podem ser extraídos aspetos significativos juntando estes dois tipos de dados em vez de usar um tipo só.

- Tooke *et al.* (2009) usam uma abordagem baseada na separação espectral e em árvores de decisão desenvolvidas com recurso a estatísticas para classificar as características da vegetação urbana, incluindo espécies e condições da mesma. Esta técnica envolve a localização e separabilidade das características da vegetação dentro do espaço de mistura espectral derivado de imagens de VHR para a cidade Vancouver, no Canadá. Adicionalmente utilizam o LiDAR para modelação da superfície e para identificar os pixéis da imagem que representam sombra.
- Rottensteiner e Briesse (2002) apresentam um método para a extração de edifícios a partir de dados LIDAR em áreas densamente urbanizadas. Para a extração de edifícios o primeiro passo é a interseção do DSM com o DTM a partir dos pontos LiDAR. Subtraindo o DTM ao DSM e aplicando um limite para as diferenças de altura é criada uma máscara de construção inicial, contudo ainda com vegetação e objetos. Para eliminar essas áreas e objetos são utilizados operadores morfológicos binários e uma análise de textura do DSM. Os resultados finais da deteção/extração de edifícios são encontrados por uma análise dos desvios-padrão do modelo adaptado. Os resultados de um teste na cidade de Viena mostraram o elevado potencial do método.

#### **1.4. Indicadores urbanos 2D e 3D**

Segundo a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Europeu (OCDE) (1993), de um modo geral, um indicador pode ser definido como um parâmetro ou um valor derivado a partir de parâmetros, que fornece informações sobre um fenómeno. O indicador tem um significado que se estende para além das propriedades diretamente associadas com o valor do parâmetro. Os indicadores possuem um significado sintético e são desenvolvidos para um propósito específico.

Estes podem ser usados para suporte e desenvolvimento de políticas de planeamento e gestão do meio urbano, permitindo por um lado quantificar o estado atual de um determinado parâmetro, mas também identificar se as metas políticas e os objetivos estão a ser cumpridos (Santos *et al.*, 2011). I.e., os indicadores referem várias lógicas diferentes, descrevendo tanto o estado do sistema (diagnóstico), ou o impacto sobre as políticas de instalação (avaliação), ou evoluções possíveis no sistema (futuro) (SEDE-Marceau e Moine, 2008 in Santos, 2011). Os indicadores urbanos são ferramentas eficientes no que diz respeito à simplificação, quantificação e comunicação de informação relevante para os planeadores urbanos (Santos *et al.*, 2013).

Os sistemas baseados em diferentes indicadores urbanos podem ainda ser utilizados como ferramentas para as cidades transmitirem os diferentes riscos urbanos, e promoverem estratégias e medidas para um desenvolvimento urbano sustentável e gestão do risco de catástrofes. A monitorização através de indicadores é um processo chave na avaliação da implementação e do sucesso de políticas sobre o território (Santos, 2011).

Em Portugal, a Direção Geral do Território (DGT) antiga Direção-Geral de Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano (DGOTDU) desenvolveu uma análise exploratória de oito sistemas de indicadores como instrumentos de políticas de avaliação públicas que resultou na realização Sistema de Nacional de Indicadores e Dados-Base sobre Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano (2010). As estruturas dos oito sistemas explorados<sup>3</sup> variam em função do quadro de referência adotado, do número de indicadores selecionados, da definição dos indicadores-chave, da medição de objetivos e metas, e dos temas. Existem sistemas de indicadores que se focam nos objetivos da política e na medição dos resultados, estando assim agrupados segundo os objetivos, os temas ou domínios de observação. Para além da organização em temas ou objetivos, os indicadores são ainda estruturados

---

<sup>3</sup> ONU- Guia para a construção de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável; ONU. Habitat- Indicadores urbanos globais; União Europeia- Sistema de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável; Escócia- Sistema de Indicadores de Desempenho Nacional; Dinamarca- Sistema Nacional de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável; Grande Londres (Inglaterra) - Monitorização da implementação do plano de Londres; Navarra (Espanha) - Sistema de Indicadores da Estratégia Nacional; Berna (Suíça) – Indicadores de observação do estado do ordenamento do território.

pelos níveis de pormenor ou pelos assuntos que abordam, dividindo-se entre indicadores de primeira e segunda prioridade, ou seja, os mais comuns e estratégicos ou os que se referem a questões de âmbito territorial ou intervenção mais específica. Verificam-se também sistemas de indicadores que optam pela construção de indicadores sintéticos ou índices que permitem medir de forma quantitativa e sintética um determinado fenómeno complexo, revelando-se úteis para análises comparativas entre regiões e para criação de *rankings* (Vilares, 2010).

Assim, em Portugal, de acordo com o 2º relatório de progresso da DGOTDU (2011), em que estão expostos os resultados preliminares da estruturação do Sistema Nacional de Indicadores e Dados-Base sobre Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano (2010), os indicadores foram definidos e organizados segundo quatro critérios-chave: a pertinência para a avaliação do desígnio tendo por fundamento as questões críticas previamente identificadas no âmbito de cada fator crítico; a disponibilidade de informação base; delimitação do âmbito e interoperabilidade da informação nos vários âmbitos geográficos (Catita *et al.*, 2011). Assim, cada indicador foi definido individualmente segundo os critérios apresentados na figura 1.

Factor Crítico	- Identificação do(s) factor(es) crítico(s) a que o indicador está associado
Indicador	- Designação do indicador
Descrição	- Descrição do indicador
Pertinência / contexto de utilização	- Utilização principal que será dada ao indicador e que justifica a sua integração no sistema
Método de cálculo	- Descrição da fórmula / método de cálculo do indicador
Variáveis elementares	- Identificação das variáveis base para o cálculo do indicador
Fonte de informação	- Entidade que produz, fornece ou compila a informação necessária para calcular o indicador
Unidade	- Indicação da unidade de medida do indicador
Periodicidade	- Periodicidade da actualização do indicador
Âmbito territorial	- Identificação dos âmbitos territoriais (nacional, regional e local) adequados à utilização do indicador
Observações	- Relações com sistemas nacionais e internacionais de indicadores

Figura 1- Critérios de definição dos indicadores do sistema de indicadores Português  
(Fonte: Catita et al, 2011)

A uma escala local, a Câmara Municipal de Lisboa desenvolveu o “Biodiversidade na cidade de Lisboa: uma estratégia para 2020”, onde foram

definidos um conjunto de indicadores de ambiente urbano. A proposta de indicadores para Lisboa foi uma adaptação da Matriz de Singapura, sendo que esta matriz inclui indicadores relativos ao perfil da cidade, à biodiversidade nativa, aos serviços dos ecossistemas prestados pela biodiversidade na cidade e governança e gestão da biodiversidade na cidade. Assim, tendo em conta os dados sobre biodiversidade disponíveis e os elementos já incluídos no PDM, os indicadores propostos para Lisboa refletem a diversidade de ecossistemas, uma listagem das espécies vegetais e animais, locais com características notáveis em matéria de biodiversidade, indivíduos ou conjuntos com interesse e respetivas áreas de proteção e estrutura ecológica municipal. Os indicadores propostos para uma correta avaliação da biodiversidade em Lisboa foram então Indicadores de biodiversidade urbana, Indicadores de serviços ambientais proporcionados pela natureza da cidade e Indicadores de gestão e governança da diversidade.

Adicionalmente, um grupo de trabalho da FCT-UNL realizou um relatório de Diagnóstico do Estado do Ambiente do Município de Odivelas (2014) onde definem um conjunto de indicadores de sustentabilidade. Estes indicadores foram propostos com base em fatores de qualidade como a relevância, simplicidade e facilidade de interpretação, confiabilidade, série temporal, dados estatísticos disponíveis, capacidade de agregação de informação, sensibilidade e ação a que estão associados. Quanto à organização dos indicadores propostos estes estão agregados por três áreas temáticas: Indicadores de Pressão, Indicadores de Estado e Indicadores de Resposta. Neste sistema estão ainda presentes dois tipos de indicadores, os indicadores de confiança e os indicadores simples. Os indicadores de confiança resultam de um cálculo possuindo unidades métricas e objetivas. Quanto aos indicadores simples estes são análises a uma escala qualitativa, não resultando de qualquer cálculo.

Em planeamento urbano, a construção de indicadores pode recorrer a informação planimétrica e altimétrica. A Planimetria é constituída por informação geográfica a duas dimensões (2D) que indica a localização de um



dado elemento, que tanto podem ser edificações, classes de uso\ocupação do solo, informação administrativa ou demográfica. Por outro lado, a informação altimétrica (3D) indica a altitude dos elementos, que podem incluir o relevo, bem como as estruturas à superfície. Tanto a informação planimétrica como a altimétrica pode ser obtida através do processamento digital de imagens de satélite de alta resolução espacial, em cartas obtidas por fotogrametria (cartografia de base), ou através de dados recolhidos a partir de LiDAR. Através da aplicação de técnicas de modelação geográfica a dados desta natureza, é possível extrair indicadores 2D e 3D.

Segundo Santos *et al.* (2013), as métricas mais comuns são baseadas em medições de área (2D), que incluem por exemplo a área impermeável *per capita* ou a superfície ocupada por áreas verdes, tendo geralmente como fonte primária uma imagem espectral obtida através de um satélite ou de uma câmara aérea. Mais recentemente, para aplicações a grande escala encontram-se disponíveis dados obtidos através de varredura a laser (LiDAR). Esses sensores adquirem informações altimétricas e são usados para produzir um DSM. Neste contexto, os dados LiDAR podem ser explorados juntamente com informação planimétrica, permitindo construir um conjunto de indicadores urbanos 3D tais como o volume de construção *per capita*, densidade volumétrica e homogeneidade volumétrica.

Para a extração de indicadores os autores baseiam-se em diferentes tipos de dados:

- Santos *et al.* (2013) para a extração de indicadores 3D como altura dos edifícios, volume construído, volume construído *per capita*, densidade volumétrica e heterogeneidade de volume utilizam dados LiDAR, cartografia de Lisboa e censos da população. Para a extração de indicadores 2D como a área de construção dos edifícios e número médio de pisos utiliza a cartografia de Lisboa;
- González-Aguilera *et al.* (2013) usam dados LiDAR e um conjunto de dados cadastrais apoiados por um serviço de mapas na web para

extração de indicadores 2/3D como tamanho da área de construção, altura e volume dos edifícios e ocupação da superfície.

- Yu *et al.* (2010), para extração de indicadores como os atributos de densidade urbana, área precisa de cada piso dos edifícios, ocupação da superfície, área edificada e atributos geométricos e de volume (ponto centroide, perímetro, tamanho, altura e volume) utilizaram apenas dados LiDAR;
- Carneiro *et al.* (2010), utilizaram dados LiDAR para construção de um modelo urbano de superfície 2,5D e para o cálculo no nDSM;
- Esch *et al.* (2010) para extrair o indicador 2D relativo à superfície impermeabilizada, utilizaram uma imagem de satélite Landsat;
- Voegtli *et al.* (2005) para extrair os declives e exposição dos edifícios recorreram ao Laserscanning ALTM e a dados topográficos.

De acordo com estes autores, a extração de indicadores 2D e 3D para grandes áreas tem como fonte de informação primária preferencialmente dados altimétricos recolhidos por sensores LiDAR, e dados planimétricos que incluem imagens espectrais ou limites cadastrais. Para extração de indicadores 2D utilizam-se igualmente os dados planimétricos. Quando as áreas de estudo são de pequena dimensão, o levantamento de dados pode ainda ser feito por métodos fotogramétricos tradicionais sem recorrer ao LiDAR.

## **CAPÍTULO 2: ÁREA DE ESTUDO E DADOS**

### **2.1. Caracterização da área de estudo**

A área de estudo onde a metodologia é testada corresponde à cidade de Lisboa (Figura 2). Lisboa é a capital de Portugal e fica situada no Sudoeste da Europa. A cidade de Lisboa é localizada na margem norte do Rio Tejo, sendo a maior cidade de Portugal com uma área de 85 km<sup>2</sup> e uma população de 547 631 habitantes (à data dos censos 2011). Dois elementos fundamentais que são determinantes no funcionamento do seu ecossistema incluem o Parque Natural de Monsanto e o Estuário/Rio Tejo.

O instrumento que regula o ordenamento do território na cidade de Lisboa é o PDM, estabelecendo o modelo de organização espacial e estratégico de desenvolvimento do território municipal, a classificação do solo e as regras e parâmetros aplicáveis à ocupação, uso e transformação do solo (alínea 2, artigo 1 do regulamento do PDM de Lisboa). O PDM inclui uma estratégia ambiental direcionada para a melhoria da qualidade de vida e do ambiente. Com a revisão do PDM, um dos aspetos cruciais do ponto de vista da biodiversidade, foi a definição da Estrutura Ecológica Municipal que propõe a implementação de corredores de ligação entre as grandes áreas verdes do município.



Figura 2- Área de estudo para extração de indicadores

## 2.2. Base de Dados

Os dados explorados na tese são de três tipos: dados planimétricos, altimétricos e espectrais. Todos os dados estão no Sistema de Referência ETRS89/PT-TM06 (Tabela 2).

Tabela 2- Características dos dados

Tipo de dados	Nome	Data	Resolução Espacial/escala	Sistema de referência
Planimétricos	Cartografia Municipal dos edifícios	1998 atualizado para 2006	1: 1000	ETRS89/PT-TM06
	BGRI	2011	n.a.	
	Cartografia Municipal dos Espaços Verdes	2013	1: 1000	
	nDSM	2006	1 m	
Espectrais	WorldView-2	2010	0,5 m	

### 2.2.1 Dados Planimétricos

Os dados altimétricos utilizados são de dois tipos:

- A Cartografia Municipal de Edifícios de Lisboa, de 1998, atualizada para 2006 (Santos, 2011), à escala 1/1000. Os dados estão disponíveis em formato vectorial.
- Para fins estatísticos serão utilizados dados da Base Geográfica de Referência de Informação (BGRI) de 2011, sendo esta uma base hierarquizada assente num sistema de referência geográfica cuja unidade mínima de representação é a SSE. A SSE é a unidade territorial que identifica a mais pequena área homogénea de construção ou não, existente dentro da Secção Estatística (SS). Corresponde ao quarteirão nas áreas urbanas, ao lugar ou parte do lugar nas áreas rurais ou a áreas residuais que podem ou não conter unidades estatísticas (isolados) (INE, 2014). A informação espacial está disponível em formato vectorial.

Para o cálculo do indicador das Áreas Verdes Sem Acesso Público (AVSAP) é usada ainda informação disponibilizada pela Câmara Municipal de

Lisboa (CML), formada por um conjunto de ficheiros digitais que representam todos os espaços verdes de Lisboa (Tabela 3).

Tabela 3- Espaços verdes (informação dos ficheiros digitais da CML)

<b>Ficheiro</b>	<b>Tipo de Informação</b>	<b>Data</b>
Agricultura e hortas	Polígono	2013
Arvoredo em alinhamento (cemitérios)	Polígono	2013
Coberturas ajardinadas	Polígono	2013
Espaço público impermeabilizado	Polígono	2013
Espaços verdes de Gestão da CML	Polígono	2013
Espaços verdes de enquadramento de vias	Polígono	2013
Espaços verdes de vizinhança e locais	Polígono	2013
Espaços verdes centrais e urbanos	Polígono	2013
Localização das árvores	Ponto	2010
Logradouros existentes na malha urbana A e B da cidade de Lisboa	Polígono	2013
Prado do aeroporto	Polígono	2013
Prado ruderal	Polígono	2013

### 2.2.2 Dados Altimétricos

A informação altimétrica urbana (3D) corresponde ao nDSM da cidade de Lisboa. Este modelo foi obtido a partir de dois ficheiros matriciais: o DTM e DSM, e é um produto do projecto GEOSAT (PTDC/GEO864826/2006). O DTM foi gerado a partir de dados cartográficos da cidade de Lisboa de 1998 à escala de 1/1000 e pontos cotados fornecidos pela CML. O DTM tem a resolução de 1 metro (Santos, 2011). O DSM corresponde a informação recolhida por um voo LiDAR de 2006 da cidade de Lisboa. A nuvem de pontos original foi convertida numa matriz com uma resolução espacial de 1 metro (Santos, 2011). Note-se que os dados LiDAR correspondem ao 2º retorno, e portanto apenas são identificadas as estruturas “sólidas”, estando a presença de vegetação minimizada.

### 2.2.3. Dados Espectrais

Os dados espectrais explorados nesta tese correspondem a uma imagem de alta-resolução espacial obtida pelo sensor WV-2. O WV-2, lançado em outubro de 2009, é o primeiro sensor de satélites comerciais de alta resolução espacial com 8 bandas multiespectrais. Operando a uma altitude de 770 km, o WV-2 fornece 0,5 m de resolução pancromática e 2 m de resolução multiespectral. Os dados multiespectrais estão divididos em oito bandas: Costal, Azul, Verde, Amarelo, Vermelho, *Red Edge*, Infravermelho Próximo 1, Infravermelho Próximo 2 (Tabela 4).

Esta combinação de resolução espacial e espectral fina, pela primeira vez, apresentou novas oportunidades para aplicações urbanas detalhadas de classificação de cobertura do solo. A imagem utilizada foi ortoretificada e registada ao Sistema ETRS/PT-TM06, no âmbito do projeto GEOSAT - Metodologias para extração de informação Geográfica a grande escala a partir de imagens de Satélite de alta resolução (PTDC/GEO/64826/2006).

Tabela 4- Características WV-2

Satélite	WorldView-2
Sensor	Pancromático (Pan)
	Multiespectral (MS)
Bandas espetrais	Pan (450-800 nm)
	Banda 1, Costal (400-450 nm)
	Banda 2, Azul (450-510 nm)
	Banda 3, Verde (510-580 nm)
	Banda 4, Amarelo (585-625 nm)
	Banda 5, Vermelho (630-690 nm)
	Banda 6, Red Edge (705-745 nm)
	Banda 7, Infravermelho Próximo 1 (770-895 nm)
	Banda 8, Infravermelho Próximo 2 (860-1040 nm)
Resolução espacial	0,5 m (Pan); 2,0 m (MS)
Comprimento da faixa	16,4 km no nadir
Altitude	770 km
Resolução temporal	1,1 dias
Capacidade de recolha	975 000 km por dia

### **CAPÍTULO 3: METODOLOGIA PARA A EXTRAÇÃO DE INDICADORES URBANOS A PARTIR DE DADOS DE DETECÇÃO REMOTA**

A Metodologia proposta para calcular indicadores urbanos a grande escala baseia-se no processamento de informação geográfica de dois tipos: informação altimétrica urbana (3D) e informação planimétrica urbana (2D). Como fonte de informação primária recorre-se a uma imagem multiespectral, a dados LiDAR e a cartografia municipal. A partir destas dados, aplicam-se técnicas de processamento digital de imagens a análise espacial. Os produtos obtidos incluem: o volume dos edifícios, a área de vegetação e não-vegetação. Esta informação é depois cruzada com informação censitária e informação de uso e ocupação do solo para derivar indicadores urbanos (Figura 3). A metodologia proposta é aplicada ao nível de todas SSE da cidade de Lisboa.

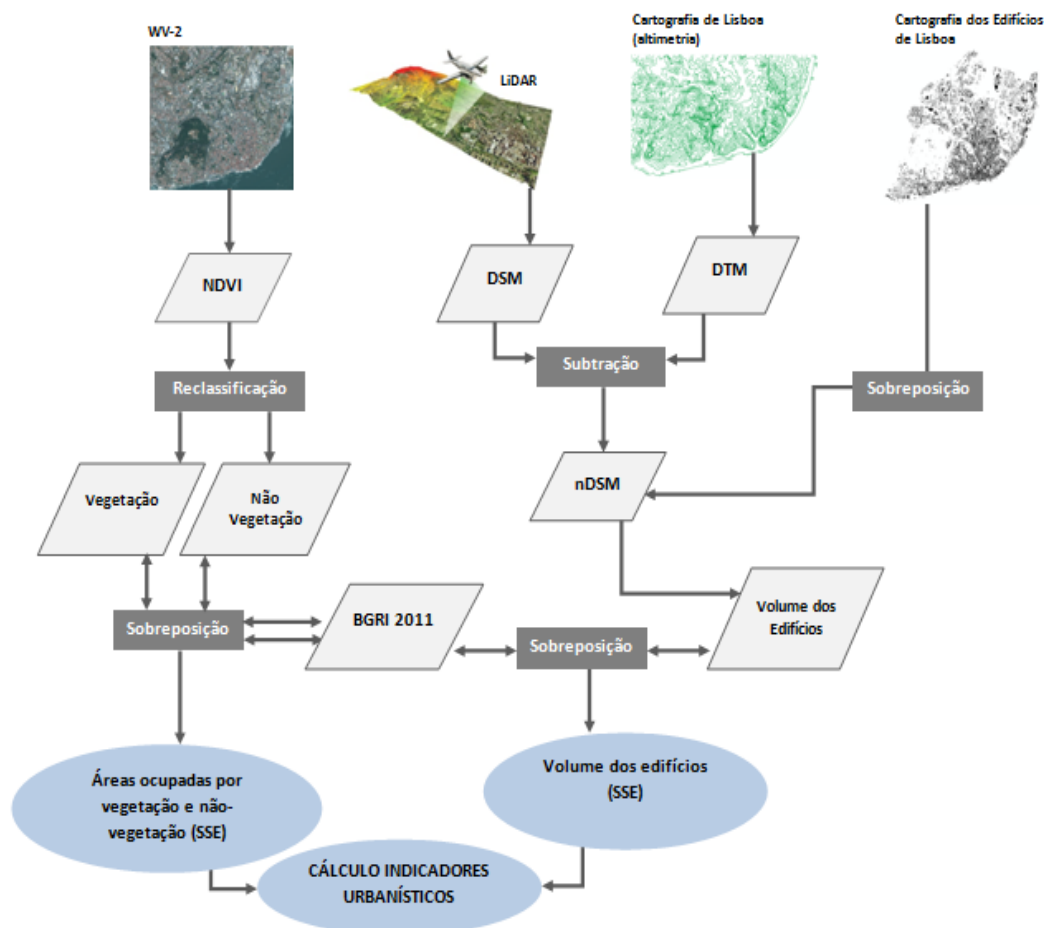


Figura 3- Fluxograma com a metodologia de extração de indicadores urbanos

### 3.1. Extração da Área de Vegetação e Não-Vegetação

De acordo com a literatura referente a índices de vegetação, nomeadamente Kraub e Reinartz (2010), Matunga *et al.* (2012), Eckert (2012) e Doesburg e Marques (2013), o NDVI é o índice mais utilizado para descrever a vegetação a partir de dados de DR. O NDVI é assim o cálculo de razões entre bandas de uma mesma imagem, que realça diferentes tipos e estados da vegetação, ao mesmo tempo que minimiza efeitos indesejáveis resultantes de diferenças de iluminação devidas à topografia (Fonseca e Fernandes, 2004). A vegetação com clorofila ativa, como é o caso da vegetação vigorosa, apresenta uma alta reflexão na banda do Infravermelho Próximo (IVP) e baixa reflexão na banda do Vermelho (V), enquanto a vegetação envelhecida ou morta apresenta reflexão equivalente nestas bandas.



Este índice, proposto por Rouse *et al.* (1973), é calculado através da seguinte fórmula:

$$NDVI = \frac{IVP - V}{IVP + V}$$

Neste trabalho, o NDVI foi calculado a partir de uma imagem de satélite WV-2. Este sensor, aliada à alta resolução espacial, apresenta também uma elevada resolução espectral que se traduz em 8 bandas espectrais. O sensor WV-2 capta então duas bandas na região do Infravermelho Próximo (bandas 7 e 8), sendo a partir destas bandas e da banda 5 (Vermelho) que se calcula o NDVI. A selecção da banda do Infravermelho Próximo que melhor caracteriza a vegetação na cidade Lisboa resultou de uma análise visual do NDVI calculado com a banda 7 e do NDVI calculado com a banda 8. Deste modo, as bandas com maior capacidade de distinção entre as classes de vegetação e de não-vegetação foram as bandas 5 e 7.

### **3.1.1. Análise de Qualidade**

O mapa obtido através do cálculo do NDVI (Figura 4) representa toda a vegetação em Lisboa e a restante área corresponde à não-vegetação, com uma resolução de 0,5 metros. Para adquirir um mapa de ambas as classes separadamente é necessário proceder-se a uma reclassificação do mapa obtido. O limiar para separação foi 132, tendo este valor sido encontrado por análise visual. Ao fazer-se uma reclassificação da imagem obtém-se apenas as duas classes pretendidas: vegetação e não-vegetação (Figura 4).

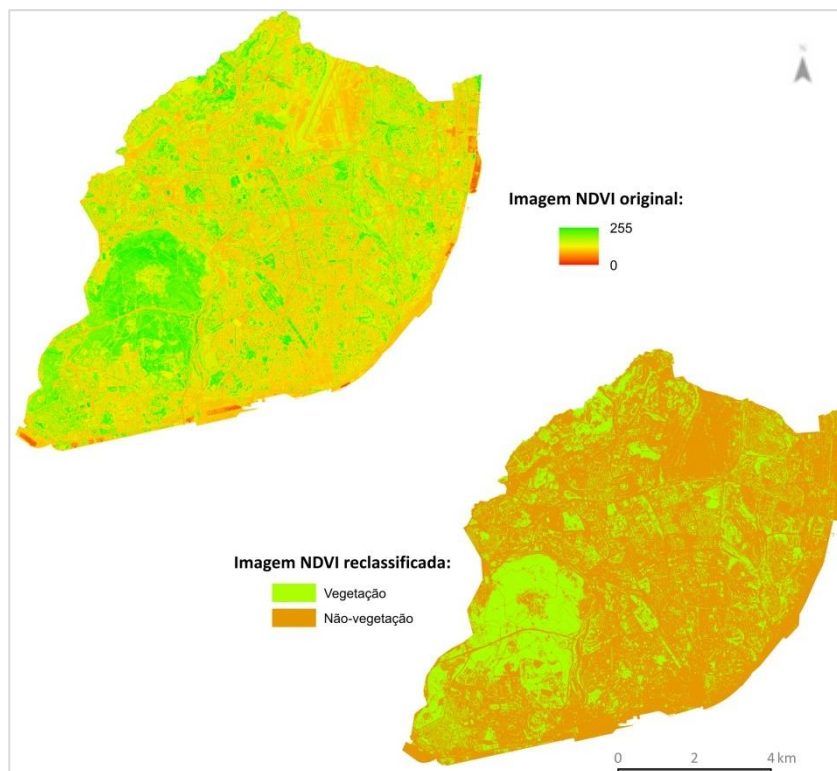


Figura 4- Imagens NDVI (original e reclassificada)

A aferição da qualidade do método de extração de vegetação baseia-se nos indicadores de precisão retirados da Matriz de Erro (Congalton e Green, 2009) (Tabela 5). Esta matriz permite comparar a semelhança entre as áreas de vegetação disponíveis na informação de referência (obtida por fotointerpretação da imagem WV-2), e as áreas resultantes da classificação digital (imagem NDVI). Esta semelhança é avaliada através dos índices de qualidade como a Exatidão global, Erros de Comissão e Omissão. A Exatidão global identifica as áreas consideradas Vegetação quer pela classificação quer pela referência. O Erro de Comissão ocorre quando na classificação uma área é considerada vegetação e na referência não é. Este erro traduz uma sobrestimação da Vegetação. O Erro de Omissão ocorre quando a referência indica uma área como sendo Vegetação, e o mesmo não acontece na classificação, i.e., essa área vem omitida no mapa classificado, e portanto vem subestimada.

Uma vez que a obtenção de um mapa de referência para toda a cidade de Lisboa, com resolução compatível com o mapa obtido por DR, é inexistente, optou-se por realizar a análise para uma área mais pequena da cidade. Esta área correspondeu à nova freguesia de Alvalade (resultante da fusão das freguesias de Alvalade, São João de Brito e Campo Grande). O mapa de referência foi obtido por digitalização de todos os espaços vegetalizados, através da fotointerpretação da imagem WV-2 (Figura 5).

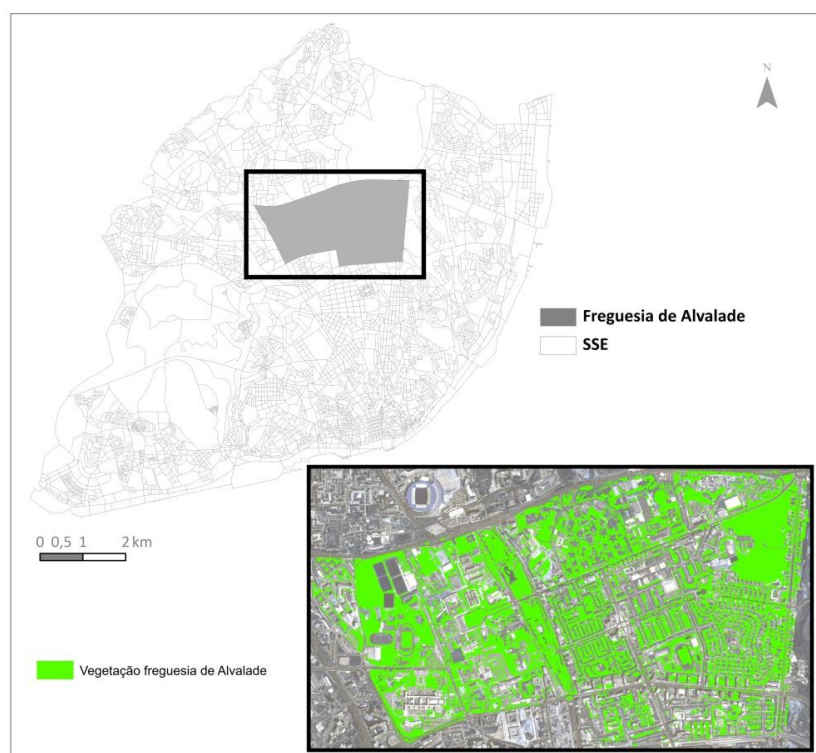


Figura 5- Mapa de referência para a vegetação na freguesia de Alvalade

Analisando a Matriz de Erro pode concluir-se que o mapa de Vegetação e Não-Vegetação apresenta uma Exatidão global de 91%. Este valor indica uma elevada concordância entre a informação de referência e a classificação. Relativamente à classe Vegetação houve um Erro de Comissão de 18% e de Omissão de 12%. Após inspeção visual, concluiu-se que estas áreas correspondem a zonas de transição entre solo sem vegetação e solo com muito pouco coberto vegetal. Quanto à Não-Vegetação observou-se 5% de Erro de Comissão e 8% de Omissão.

Tabela 5- Matriz de erro do método de extração automática de vegetação

Classificação	Referência		
	<b>Vegetação</b>	<b>Não-Vegetação</b>	<b>Total</b>
<b>Vegetação</b>	1360752	288784	1649536
<b>Não-Vegetação</b>	177130	3515424	3692554
<b>Total</b>	1537882	3804208	4876176

	<b>Erro de Comissão</b>	<b>Erro de Omissão</b>
<b>Vegetação</b>	18%	12%
<b>Não-Vegetação</b>	5%	8%
<b>Mapa</b>	<b>Exatidão global: 91%</b>	

### 3.2. Cálculo do Volume dos Edifícios

O Volume do edificado é obtido através do cálculo do Modelo Digital de Superfície Normalizado (*Normalized Digital Surface Model – nDSM*) (Santos, 2011; Gomes, 2011). Neste método, o primeiro passo consiste em obter informação relativa à elevação do terreno (DTM) e à superfície (DSM). A diferença entre os dois modelos resulta no modelo com informação altimétrica de todos os elementos acima do solo, denominado Modelo Digital de Superfície Normalizado (*Normalized Digital Surface Model – nDSM*). Este modelo matricial tem o valor de altura em cada pixel. O nDSM é sobreposto com a Cartografia Municipal de Edifícios, e numa operação de zonamento espacial, calcula-se a área e o volume de cada edifício.

### 3.3. Cálculo dos indicadores

Os indicadores estão agrupados em indicadores de área e indicadores de volume ao nível da SSE. Os indicadores propostos são 10, dos quais 6 são indicadores de área e 4 indicadores de volume. De acordo com o tipo de cálculo, estão presentes os indicadores de confiança e indicadores simples.

Todos os indicadores que se relacionam com a população (*per capita*) são calculados para a SS e não para a SSE de forma a contornar as algumas imprecisões que advêm dos censos populacionais. I.e. ao calcular o Volume Construído *per capita* para algumas SSE os resultado podem não ser precisos já que existem SSE com um grande volume construído e apenas 1 residente, podendo este ainda ser sem-abrigo.

### **3.3.1 Indicadores de área**

#### **Área de Vegetação (%)**

O cálculo deste indicador permite perceber qual a percentagem de área abrangida vegetação em que há permeabilidade de água e em que não há construção. Este indicador é calculado com base nos valores correspondentes à área de vegetação existente nas SSE, obtidos numa operação de zonamento espacial. Assim esta é calculada segundo a equação 1.

$$\frac{\text{Área de Vegetação} \times 100}{\text{Área total SSE}}$$

#### **Área de Não-Vegetação (%)**

A área de não-vegetação corresponde às áreas que não detêm vegetação e em que o solo está ocupado por construção, como edifícios, estradas, ou solo exposto. Este indicador é calculado de acordo com a equação apresentada.

$$\frac{\text{Área de Não- Vegetação} \times 100}{\text{Área total SSE}}$$

#### ***Vegetação per capita***

A vegetação *per capita* permite compreender a relação que existe entre a vegetação e a população residente nas SS.

$$\frac{\text{Área de Vegetação}}{\text{População residente nas SS}}$$

### Áreas Verdes Sem Acesso Público (AVSAP) (%)

A AVSAP são definidas *à priori* como todas as áreas verdes que o público em geral não tem acesso e que não estão a cargo da CML. Estas áreas incluem todo o tipo de vegetação e de arvoredo, presentes essencialmente em logradouros ou jardins privados.

Para o cálculo da AVSAP é necessário perceber quais os espaços verdes que estão a cargo pela CML, e todas as outras áreas que detêm vegetação e são reconhecidas pela CML. A informação que a CML dispõe é extraída à vegetação total (obtida através do NDVI), sendo o resultado final as AVSAP. O ficheiro digital que identifica todas as árvores existentes na cidade de Lisboa é do tipo pontual identificando apenas o local onde estas se encontram. Para que seja possível extrair as árvores à vegetação total, é necessário fazer-se um *buffer* para que a área que as árvores ocupam seja contabilizada e extraída na totalidade. Após várias tentativas a aplicação de um *buffer* de 10 metros, revelou-se a escolha mais correta, pois é a medida que apanha as árvores na totalidade. Na carta Espaços verdes de Gestão da CML é também necessário realizar um *buffer*, uma vez que estes espaços estão delimitados pelo seu limite físico e na maioria das vezes as copas das árvores e outro tipo de vegetação ultrapassa esse limite. Neste caso, um *buffer* de 3 metros revelou-se a medida mais adequada. Os restantes ficheiros digitais podem ser extraídas à vegetação total sem alterações. Após a extração destes são eliminados as áreas inferiores ou iguais a 0,2 metros, uma vez que os pixéis menores ou iguais a este valor não representam vegetação em concreto mas sim os excedentes que ficaram da extração dos ficheiros digitais à carta da vegetação total. Por último, é feita uma análise visual a toda a imagem para se eliminar todos os restantes excedentes.

$$\frac{\text{AVSAP} * 100}{\text{Área total SSE}}$$

### **AVSAP *per capita***

Com o objetivo de perceber os metros quadrados por habitante de AVSAP é calculado o indicador AVSAP *per capita*. Este é calculado através da fórmula apresentada a abaixo.

$$\frac{\text{AVSAP}}{\text{População residente SS}}$$

### **Carência de Espaços Verdes por Área de Não-Vegetação**

O cálculo da carência de espaços verdes utilizado neste indicador foi realizado pelo Grupo de Missão Biodiversidade 2020 e teve como base os dados de 2001 do INE e os espaços verdes públicos de Lisboa. Os espaços verdes públicos de Lisboa considerados neste cálculo são os parques periurbanos (Parque Florestal de Monsanto), parques centrais, parques urbanos e parques de vizinhança. Não foram considerados os espaços verdes locais e de enquadramento de zonas edificadas que geralmente são de uso público ou com restrições, espaços verdes de enquadramento a ferro e rodovias e espaços verdes de enquadramento a pistas aeronáuticas. Os espaços verdes locais (inferiores 0,75 ha ou de maior dimensão desde que não considerados com espaços verdes de vizinhança) cuja influência é tida meramente local também não foram contabilizados.

Para o cálculo da carência é atribuída aos espaços verdes uma classificação de acordo com respetivas funções e dimensões, sendo-lhes ainda atribuído um determinado raio de influência que os classifica em espaços verdes com funções de parques peri-urbanos (raio de 7000 m), espaços verdes centrais (1000 m), espaços verdes urbanos (500 m) e espaços verdes de vizinhança (250 m).

O indicador carência de espaços verdes por área de não-vegetação é um indicador simples e resulta da análise entre os valores da carência de espaços verdes e as áreas impermeáveis de Lisboa.

### **3.3.2. Indicadores de Volume**

#### **Volume Construído *per capita***

O Volume construído *per capita* permite observar a relação existente entre o volume construído nas SS e a população residente nas SS. O cálculo deste indicador baseia-se nos valores de volume do edificado e na BGRI 2011.

$$\frac{\text{Volume Construído SS}}{\text{População residente SS}}$$

#### **Relação Volume Construído - Espaços Verdes**

Este é um indicador simples que pretende relacionar o volume construído nas SSE e os espaços verdes.

#### **Relação Volume Construído - Carência de Espaços Verdes**

A relação entre o volume construído nas SSE e a carência de espaços verdes, e sendo este um indicador simples, visa analisar se nas áreas em que a carência de espaços verdes é maior, o volume construído é maior ou menor.

#### **Relação Volume Construído - AVSAP**

Este indicador tem como objetivo caraterizar a relação existente entre o volume construído nas SSE e as AVSAP. Como indicador simples possibilita analisar se as AVSAP estão presentes em maior ou menor quantidade nos locais onde o volume construído é maior ou menor.



### 3.3.3. Sistema de indicadores

O sistema de indicadores proposto no presente trabalho, que tem como objetivo demonstrar as relações e as tendências existentes nas áreas construídas, volume construído e áreas verdes nas SSE de Lisboa, seguiu um misto de procedimentos para a sua estruturação. Estes procedimentos passaram pela definição dos critérios de seleção dos indicadores e pela determinação da estrutura do sistema.

Os indicadores foram definidos de forma a garantir fiabilidade, e demonstrarem qualidade e utilidade. Além disso, os indicadores escolhidos tiveram em consideração o acesso à informação necessária para o seu cálculo. Neste sentido, definiram-se os seguintes critérios para a seleção dos indicadores com base em Vilares (2010):

- Relevância dos resultados obtidos do cálculo dos indicadores para as políticas públicas ou para a caracterização/estudo da cidade;
- Cada indicador deve corresponder apenas a uma questão específica, ser claro e preciso;
- Os indicadores devem ter em conta a disponibilidade/fácil acessibilidade à informação necessária para o seu cálculo. A informação deve corresponder à melhor disponível e à mais recente.
- A informação deve corresponder a dados válidos, coerentes e credíveis;
- A fórmula definida para o seu cálculo deve ser criada de forma a poder ser utilizada em várias épocas temporais, sem que esta se altere.
- A fórmula definida para o seu cálculo deve ser criada para que possa ser adaptada a diferentes escalas locais;
- Implementação e monitorização exequíveis em diferentes cidades.

Relativamente à estrutura do sistema adotada, esta teve por base a análise a oito sistemas de indicadores. Estes oito sistemas variam a sua estrutura em função do quadro de referência que utilizam, do número de indicadores que constituem o seu sistema, na definição de indicadores-chave, e consoante os temas ou objetivos. A estrutura do sistema de indicadores

urbanos proposto é definida tendo em conta, sobretudo, o tema e os objetivos, mas também tendo em consideração alguns aspetos relevantes dos oito sistemas de indicadores analisados.

Na elaboração da estrutura do sistema de indicadores procurou-se ter presente o objetivo do indicador, a descrição do mesmo, o método de cálculo e a unidade de cálculo. Os indicadores no sistema são agrupados em dois temas, para que a leitura e a utilização dos mesmos seja mais objetiva, estando assim agrupados em indicadores de área e indicadores de volume. Neste sistema estão presentes indicadores de confiança e indicadores simples (CMO, 2014). Os indicadores de confiança resultam de razões objectivas e numéricas, e são quantificáveis. Estes incluem: Área de Vegetação por SSE, Área de Não-Vegetação por SSE, Vegetação per capita, Áreas Verdes Sem Acesso Público, AVSAP per capita e Volume per capita. Os indicadores simples, por sua vez, resultam de uma análise qualitativa, e incluem Carência de Espaços Verdes por Área de Não-Vegetação, Relação Volume Construído - Espaços Verdes, Relação Volume Construído - Carência de Espaços Verdes, Relação Volume Construído – AVSAP.

A estrutura final do sistema de indicadores é constituída por dois temas, seis objetivos e dez indicadores com a respetiva descrição, método de cálculo e unidade de cálculo (Tabela 6).

Tabela 6- Estrutura do Sistema de indicadores

Tema: Indicador de Área				
Objetivo	Indicador	Descrição	Fórmula	Unidade
Objetivo 1: Perceber quais as áreas correspondentes a vegetação e não-vegetação na cidade	<b>Área de Vegetação</b>	Área do solo em que há permeabilidade de água e não há construção	$\frac{\text{Área de Vegetação} \cdot 100}{\text{Área total SSE}}$	%
	<b>Área de Não-Vegetação</b>	Áreas que não detêm vegetação e em que o solo está ocupado por construção, como edifícios, estradas, ou solo exposto	$\frac{\text{Área de Não- Vegetação} \cdot 100}{\text{Área total SSE}}$	%
	<b>Carência de Espaços Verdes por Área de Não-Vegetação</b>	Áreas construídas com maior carência de espaços verdes	-	
Objetivo 2: Relacionar a área de vegetação existente na cidade com a população	<b>Vegetação per capita</b>	Relação que existe entre a vegetação e a população residente nas SS	$\frac{\text{Área de Vegetação SS}}{\text{População residente nas SS}}$	m <sup>2</sup> /habitante
Objetivo 3: Conhecer as áreas verdes sem acesso público na cidade	<b>AVSAP</b>	Todas as áreas verdes que o público em geral não tem acesso e que não estão a cargo da Câmara Municipal de Lisboa (CML)	$\frac{\text{AVSAP} \cdot 100}{\text{Área total SSE}}$	%
	<b>AVSAP per capita</b>	Área de espaços verdes sem acesso público por habitante	$\frac{\text{AVSAP}}{\text{População residente SS}}$	m <sup>2</sup> /habitante

Tema: Indicador de Volume				
Objetivo 4: Relacionar o volume construído na cidade com a população	<b>Volume Construído <i>per capita</i></b>	Relação que existe entre o volume construído e população residente na SS	$\frac{\text{Volume Construído SS}}{\text{População residente SS}}$	m <sup>3</sup> /habitante
Objetivo 5: Relacionar o volume construído e os espaços verdes na cidade	<b>Relação Volume Construído - Espaços Verdes</b>	Nas áreas onde há maior volume de construção perceber se os espaços verdes são em número elevado e vice-versa na SSE	-	
	<b>Relação Volume Construído - Carência de Espaços Verdes</b>	Áreas carentes de espaços verdes que correspondem a SEE com maior ou menor volume de construção	-	
	<b>Relação Volume Construído - AVSAP</b>	Calcula se AVSAP estão presentes em maior ou menor quantidade na SSE onde o volume construído é maior ou menor	-	

## **CAPITULO 4: EXTRAÇÃO DE INDICADORES URBANOS: ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

A extração de indicadores urbanos, realizada de acordo com a metodologia proposta, e com o objetivo de criar um sistema de indicadores urbanos para perceber as tendências na cidade de Lisboa é aplicada a todas as SSE de Lisboa.

A extração de indicadores urbanos é dividida em dois tipos, indicadores de área e indicadores de volume. Os resultados apresentados são os 10 valores mais elevados e os 10 valores mais baixos de cada indicador, denominados de “Top 10 +” e “Top 10 -”. Todos os indicadores extraídos são também apresentados em mapas para que haja uma melhor leitura dos resultados obtidos.

### **4.1. Área de Vegetação**

As 10 SSE com maior área de vegetação de Lisboa estão distribuídas pelas freguesias de São Mamede, Alcântara, Benfica, São Domingos de Benfica, São João de Brito e Marvila. A SSE com maior área de vegetação, correspondente a 94%, localiza-se na freguesia de São Mamede e diz respeito ao Jardim Marcelino Mesquita (Jardim das Amoreiras). A outra SSE com maior área de vegetação (94%) localiza-se em Alcântara, sendo esta SSE o Jardim do Alto de Santo Amaro. Analisando o top 10 + das SSE com maior área de vegetação (Tabela 7), as freguesias de Benfica e Alcântara são as que detêm o maior número de SSE neste TOP, uma vez que estas SSE ocupam áreas do Parque Florestal de Monsanto e do Parque da Tapada da Ajuda.

No que toca às SSE com menor área de vegetação, estas estão repartidas entre as freguesias de Penha de França, São Nicolau, São Vicente e Beato uma vez que o seu tipo de construção não privilegia a existência de áreas verdes (Figura 6). A Baixa Lisboeta detém assim uma elevada área construída

obedecendo a uma planificação em ruas alinhadas obedecendo a traçado de eixos de composição simétricos, não restando espaço para áreas verdes.

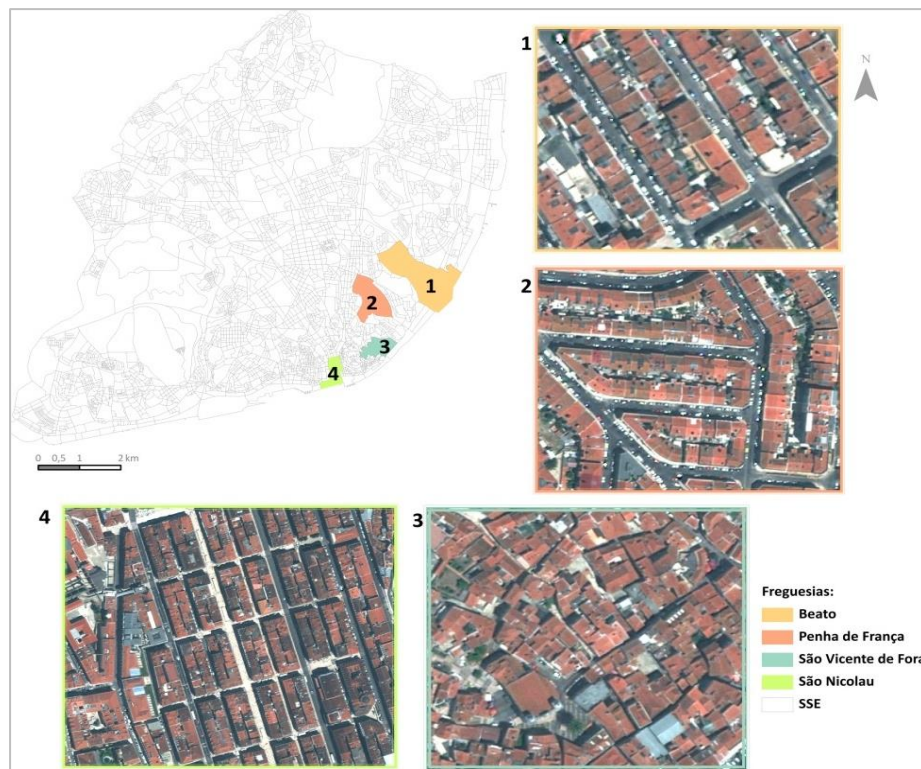


Figura 6- Tipo de construção nas freguesias do Beato, Penha de França, São Vicente e São Nicolau

É ainda notório que a percentagem de área de vegetação aumenta do centro para periferia, uma vez que as SSE com maior área de vegetação localizam-se no Parque Natural de Monsanto e Parque da Tapada da Ajuda, e as SSE com menor área de vegetação na zona mais antiga de Lisboa, sobretudo na Baixa Lisboeta (Figura 7).

É também perceptível a importante função ecológica que o Parque Natural de Monsanto representa na cidade de Lisboa, não só em termos de manutenção de biodiversidade, mas também de qualidade ambiental que proporciona nas SSE que ocupa e nas envolventes. A elevada percentagem de área de vegetação nestas SSE conduz igualmente a que o risco de inundação seja mais reduzido, uma vez que a área permeável é elevada. Por outro lado, a Baixa Lisboeta, e apesar da sua função mais administrativa e comercial, é uma

área que se apresenta com debilidades quanto às áreas de vegetação, que aliada com a proximidade do leito do Rio Tejo, resulta assim num elevado risco de inundação

Tabela 7- Área de vegetação (%): TOP 10 + e TOP 10 –

Top 10 +				
BGRI11 (SEE)	Freguesia	Área total SSE (m <sup>2</sup> )	Área vegetação (m <sup>2</sup> )	% Área de vegetação
11064600504	São Mamede	7590	7121	94
11060201702	Alcântara	7658	7179	94
11060806312	Benfica	693200	610075	88
11060805703	Benfica	1112368	970605	87
11063906005	S. Domingos de Benfica	213268	181174	85
11060806301	Benfica	977993	817703	84
11060200104	Alcântara	161361	133244	83
11060200101	Alcântara	692144	555751	80
11064200501	São João de Brito	203440	157777	78
11062102804	Marvila	20868	16080	77
Top 10 –				
11062501102	Penha de França	4926	0	0
11064800514	São Nicolau	477	0	0
11064800608	São Nicolau	4532	0	0
11062800501	São Nicolau	4254	0	0
11064800508	São Nicolau	3161	0	0
11064800305	São Nicolau	2983	0	0
11065100701	S. Vicente de Fora	2683	0	0
11060701102	Beato	3523	0	0
11064800301	São Nicolau	7605	0	0
11060701101	Beato	5029	1	0

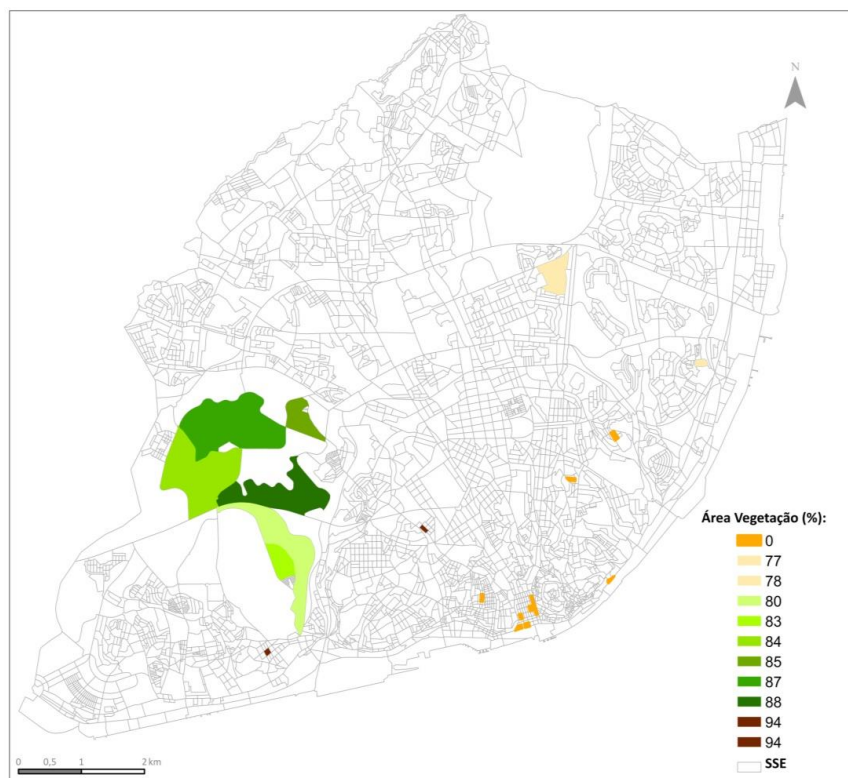


Figura 7- Área de vegetação (%)

#### 4.2. Área de Não-Vegetação

As 10 SSE de Lisboa com as percentagens de área de não-vegetação mais elevadas estão repartidas pelas freguesias Encarnação, São Cristóvão e São Lourenço, São Miguel, Encarnação, São Paulo e Campolide. Verifica-se que todas estas SSE apresentam valores correspondentes a 100%, concluindo-se que a totalidade das suas áreas é tendencialmente pouco permeável (Tabela 8).

Por outro lado, avaliando as 10 SSE com menor percentagem de área de não-vegetação verificam-se que estas correspondem, como expectável, às SSE que possuem a maior área de vegetação. A SSE que lidera o TOP 10 – pertence a freguesia de Marvila e detém 23% de área de não-vegetação. A SSE com a menor percentagem de área de não-vegetação (6%) localiza-se na freguesia de São Mamede e é a freguesia no TOP 10 + da área de vegetação que aparece em primeiro lugar (Figura 8).

As SSE com maior percentagem de área de não-vegetação localizam-se nas zonas mais antigas de Lisboa, sobretudo na Baixa tal como as SSE com



menor área de vegetação (Figura 8), uma vez que nestas zonas centrais verifica-se uma grande densidade de alojamentos.

Tabela 8- Área de Não-Vegetação (%): TOP 10 + e TOP 10 –

TOP 10 +				
BGRI11 (SSE)	Freguesia	Área total SSE (m <sup>2</sup> )	Área não-vegetação (m <sup>2</sup> )	% Área de não-vegetação
11061500305	Encarnação	2350	2364	100
11063800105	S. Cristóvão e S. Lourenço	384	385	100
11061002904	Campolide	754	756	100
11063600304	S. Cristóvão e S. Lourenço	413	414	100
11064700302	São Miguel	483	484	100
11063800302	S. Cristóvão e S. Lourenço	420	421	100
11061003108	Campolide	604	605	100
11061500507	Encarnação	1001	1003	100
11064700407	São Miguel	578	579	100
11064900103	São Paulo	584	585	100
TOP 10 -				
11060201702	Alcântara	7658	483	6
11060806312	Benfica	693200	83110	12
11060805703	Benfica	1112368	141780	13
11063906005	S. Domingos de Benfica	213268	32094	15
11060806301	Alcântara	977993	160292	16
11060200104	Alcântara	161361	28116	17
11060200101	Alcântara	692144	136401	20
11064600504	São Mamede	7590	471	6
11064200501	S. João de Brito	203440	45661	22
11062102804	Marvila	20868	4786	33

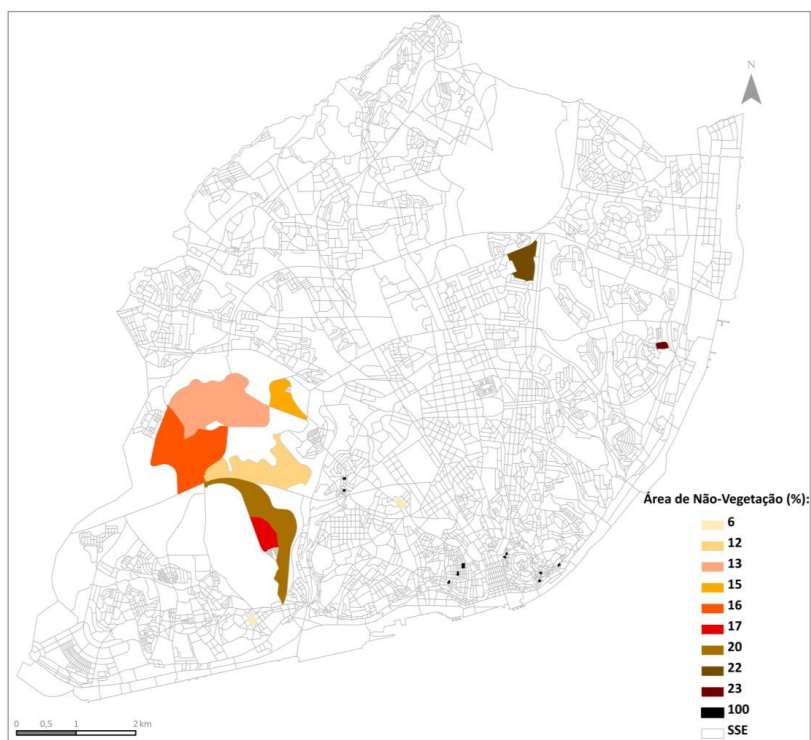


Figura 8- Área de Não-Vegetação (%)

#### 4.3. Vegetação *per capita*

As SS que detêm os 10 valores mais elevados de vegetação *per capita* integram as freguesias de São Domingos de Benfica, Benfica, Lumiar, Campo Grande, Alcântara, Santa Maria dos Olivais, São João, Marvila e Alto do Pina (Tabela 9). Este TOP 10 + justifica-se essencialmente porque nestas freguesias a vegetação é abundante e as SS são constituídas numa grande parte por áreas de espaços verdes e poucos edifícios. A SS com a vegetação *per capita* de 1523 m<sup>2</sup>/habitante é a que apresenta o valor mais elevado e localiza-se na freguesia de S. Domingos de Benfica.

Por seu turno, as SS que revelam os valores mais reduzidos de vegetação *per capita* encontram-se nas freguesias de São Nicolau, Ameixoeira, Penha de França, São Domingos de Benfica, Encarnação, São Vicente de Fora, Alvalade e São Paulo. No entanto, é predominantemente na freguesia de São Nicolau que as SS do TOP 10 – se localizam. O TOP 10 - é constituído na totalidade por uma vegetação *per capita* com o valor 0, uma vez que nestas SS devido à grande densidade de alojamentos a área de vegetação é reduzida e o

número de habitantes elevado. É nestas SS que se verificam as menores áreas de vegetação.

Ao analisar o mapa da vegetação *per capita* é ainda perceptível que a maioria das SS que revelam valores mais baixos de vegetação *per capita* encontram-se também na zona da Baixa lisboeta (Figura 10). A localização destas SS coincide com localização das SSE com menor área de vegetação e com a maior área de não-vegetação.

É ainda de destacar que as SS que apresentam os valores mais elevados de vegetação *per capita* localizam-se na zona ocidental da cidade e correspondem a áreas do Parque Natural de Monsanto, Parque da Tapada da Ajuda e SSE envolventes do mesmo, em que existem uma elevada área de vegetação e a população residente é reduzida comparativamente a outras SS da cidade de Lisboa. As restantes SS do TOP 10 + são constituídas por elevadas áreas de vegetação, como por exemplo o Jardim Zoológico de Lisboa, e por pouca população residente pelo que consequentemente a vegetação *per capita* é elevada. Quanto à SS que corresponde ao aeroporto, esta aparece no TOP 10 + uma vez que o aeroporto detém uma grande área de vegetação, e esta SS inclui uma pequena área de habitações pelo que o número de residentes é também reduzido (Figura 9).



Figura 9- Subsecções referentes ao aeroporto

Tabela 9- Vegetação *per capita*: TOP 10 + e TOP 10 -

TOP 10 +				
SS	Freguesia	População Residente	Área vegetação (m <sup>2</sup> )	Vegetação <i>per capita</i> (m <sup>2</sup> /hab)
110639029	S. Domingos de Benfica	37	56360	1523
110610011	Benfica	56	73007	1303
110611008	Lumiar	33	27769	841
110609012	Campo Grande	302	166181	550
110602001	Alcântara	517	252038	487
110633001	St. <sup>a</sup> Maria dos Olivais	587	275643	469
110641010	São João	238	101752	427
110621012	Marvila	297	125188	421
110603001	Alto do Pina	198	81069	409
110633027	St. <sup>a</sup> Maria dos Olivais	192	73826	384
TOP 10 -				
110648006	São Nicolau	146	0	0
110648002	São Nicolau	187	1	0
110648003	São Nicolau	265	4	0
110605003	Ameixoeira	120	5	0
110639032	Penha de França	125	56	0
110625011	S. Domingos de Benfica	426	56	0
110615005	Encarnação	409	71	0
110651003	S. Vicente de Fora	449	108	0
110604003	Alvalade	406	115	0
110649004	São Paulo	352	121	0

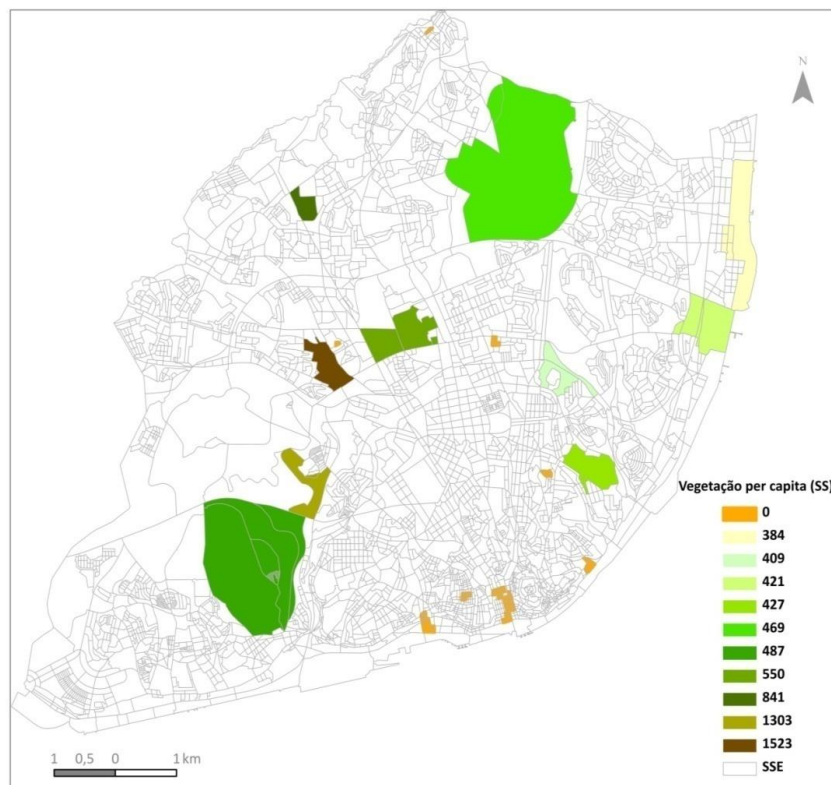


Figura 10- Vegetação *per capita*

#### 4.4. Áreas Verdes Sem Acesso Público (AVSAP)

A análise das AVSAP recai sobre as 10 SSE que detêm a maior área e a percentagem que estas ocupam na SSE, sendo esta percentagem o resultado da relação entre a área total da SSE e a área ocupada por AVSAP (Tabela 10). No caso deste indicador não é apresentado o TOP 10 -, pois notou-se ser mais pertinente apresentar todas as SSE que não detêm AVSAP (Figura 11).

Ao observar o TOP 10 das SSE com mais AVSAP pode concluir-se que estas distribuem-se essencialmente pelas freguesias de Santa Maria de Belém e São Francisco Xavier, ocorrendo ainda dois casos em Santa Maria dos Olivais e um em Carnide. A SSE que apresenta a área mais elevada de espaços verdes sem acesso público localiza-se assim em Santa Maria de Belém, correspondendo esta a 27968 m<sup>2</sup> e ocupando 49% da área total da respetiva SSE. Na segunda posição do TOP 10 + encontra-se uma SSE da freguesia de São Francisco Xavier com uma área de 20296 m<sup>2</sup> correspondendo a 47% da área da SSE.

As restantes SSE do TOP 10 + repartem-se sobretudo por Santa Maria de Belém e São Francisco Xavier, uma vez que estas são freguesias constituídas por habitações unifamiliares com um número considerável de logradouros. Ainda de destacar a SSE 11063300101 da freguesia de Santa Maria dos Olivais que corresponde ao aeroporto, que apesar de possuir 16754 m<sup>2</sup> de AVSAP mas tendo em conta a sua área total apresenta-se com 0% de AVSAP.

Relativamente às SSE que não detêm qualquer área verde sem acesso público estas estão representadas na figura 10 e tal como se pode observar estão distribuídas por toda a cidade de Lisboa. De destacar as SSE da zona da baixa lisboeta que na sua maioria não possuem AVSAP, uma vez que a sua tipologia de construção não inclui logradouros os jardins privados.

Tabela 10- AVSAP: TOP 10 +

TOP 10 +				
BGRI11 (SSE)	Freguesia	Área Total SSE (m <sup>2</sup> )	Área AVSAP (m <sup>2</sup> )	% AVSAP
11063200413	Santa Maria de Belém	57060	27968	49
11064001107	S. Francisco Xavier	42918	20296	47
11063201101	Santa Maria de Belém	42582	17407	41
11063300101	Santa Maria dos Olivais	3702330	16754	0
11063200602	Santa Maria de Belém	48333	15673	33
11061100202	Carnide	29262	15321	53
11063200603	Santa Maria de Belém	58850	14738	25
11063201104	Santa Maria de Belém	26788	14168	53
11063305201	Santa Maria dos Olivais	46733	12874	27
11064001111	São Francisco Xavier	25428	12568	49

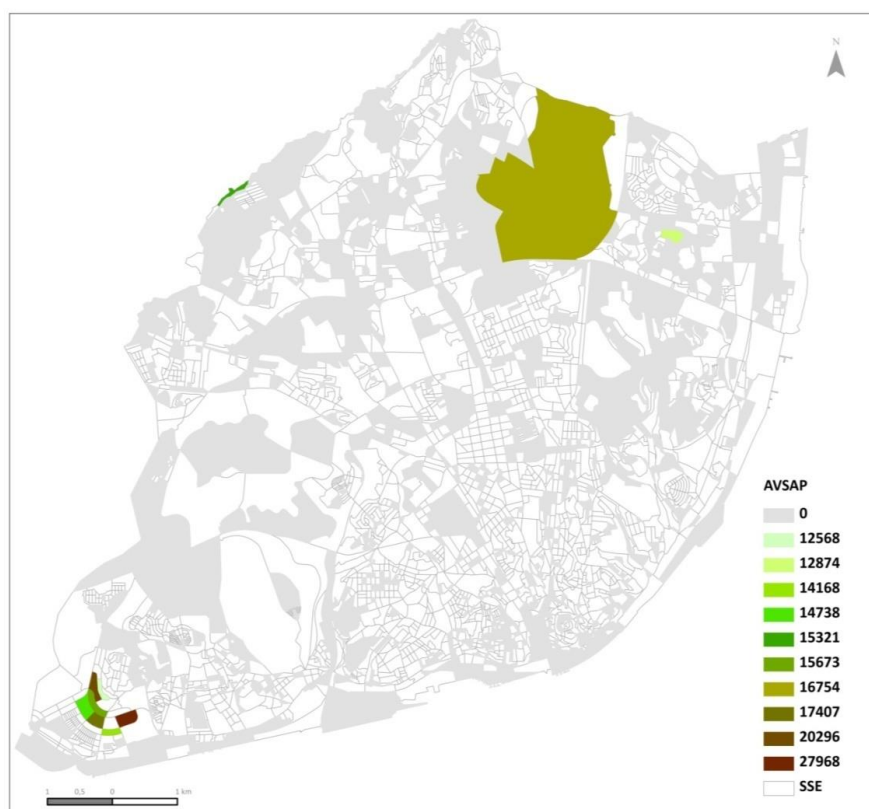


Figura 11- AVSAP

#### 4.6. AVSAP *per capita*

As AVSAP *per capita* que se apresentam com valores mais elevados nas SS estão representadas no TOP 10 + (Tabela 12), correspondendo estas à freguesia de São Francisco Xavier, Lumiar, Santa Maria de Belém, Santa Maria dos Olivais e São João de Brito. É na freguesia de Santa Maria de Belém que se verificam mais SS do TOP 10 +, no entanto, a SS que detém o resultado mais elevado localiza-se na freguesia de São Francisco Xavier e dispõe de 161 m<sup>2</sup>/habitante. Os valores do TOP 10 + variam entre 161 m<sup>2</sup>/habitante e 46 m<sup>2</sup>/habitante e a população residente é considerável. Estas SSE correspondem as moradias do Bairro do Restelo e de Belém construídas segundo os princípios da cidade-jardim de Howard, presentes no plano da Encosta da Ajuda ou do Restelo (1940), sendo estas moradias geminadas e unifamiliares com amplos jardins privados, onde o bairro tem um importante papel como unidade de vizinhança. Correspondem ainda ao Hospital São Francisco Xavier que possui uma elevada área verde no seu interior (Figura 12).





Figura 12- Tipo de construção/moradia no Bairro do Restelo

Relativamente ao TOP 10 -, o valor de AVSAP *per capita* é de 1 m<sup>2</sup>/habitante em todas as SS. Estas estão distribuídas pelas freguesias de Ajuda e Alcântara. Nestas SS é por um lado visível elevada construção e, por outro pouca área verde, sendo também as AVSAP *per capita* diminutas. A população residente nesta SS é elevada, no entanto, a AVSAP (m<sup>2</sup>) é reduzida comparativamente à área total da respetiva SSE. No mapa das AVSAP *per capita* (Figura 13) é ainda perceptível que as SS que constituem o TOP 10 – estão espalhadas por toda a cidade, não seguindo nenhuma tendência.

No que toca as SS que detêm 0 m<sup>2</sup>/habitante, em alguns casos por não possuírem residente e em outros AVSAP, pode observar-se que estão distribuídas por toda a cidade, ainda assim com especial incidência no norte, nordeste da cidade e Baixa Lisboa. A zona da Baixa além de possuir as maiores percentagens de área de não-vegetação observa ainda os valores mais



reduzidos de AVSAP, pelo que se pode concluir que é uma zona carente de áreas verdes.

Tal como no indicador AVSAP (%), os valores mais elevados de AVSAP *per capita* dizem respeito a SS onde predominam habitações unifamiliares, sobretudo localizadas na freguesia de Santa Maria de Belém e de São Francisco Xavier. Apesar destas SS não corresponderem às que detêm maior percentagem de vegetação, nem às SS com maior vegetação *per capita*, exercem da mesma forma um incremento da qualidade ambiental e manutenção de biodiversidade. Estas SS encontram-se ainda próximas do Parque Florestal de Monsanto, o que aliado á elevada AVSAP oferecem aos residentes grandes extensões de área verde.

Tabela 11- AVSAP *per capita*: TOP 10 + e TOP 10 -

TOP 10 +					
SS	Freguesia	Residentes	AVSAP (m <sup>2</sup> )	Área SS (m <sup>2</sup> )	AVSAP <i>per capita</i> (m <sup>2</sup> /hab)
110640011	S. Francisco Xavier	643	104061	278855	161
110611008	Lumiar	33	4562	143207	138
110632004	St <sup>a</sup> . Maria de Belém	471	64618	432292	137
110632006	St <sup>a</sup> . Maria de Belém	721	64317	238947	89
110632011	St <sup>a</sup> . Maria de Belém	802	66583	204720	83
110633025	St <sup>a</sup> . Maria dos Olivais	112	7545	105102	67
110642004	S. João de Brito	583	34049	236890	58
110642017	S. João de Brito	567	32287	116182	56
110632001	St <sup>a</sup> . Maria de Belém	541	26640	424668	49
110640006	S. Francisco Xavier	603	28034	316250	46
TOP 10 -					
110601002	Ajuda	814	1135	607823	1
110601007	Ajuda	845	917	30476	1
110601013	Ajuda	549	646	48576	1
110601014	Ajuda	635	960	15018	1
110601018	Ajuda	393	558	20343	1
110601025	Ajuda	478	524	20736	1
110601030	Ajuda	508	949	22106	1
110602003	Alcântara	561	858	36884	1
110602016	Alcântara	561	877	18161	1
110602017	Alcântara	436	474	21756	1

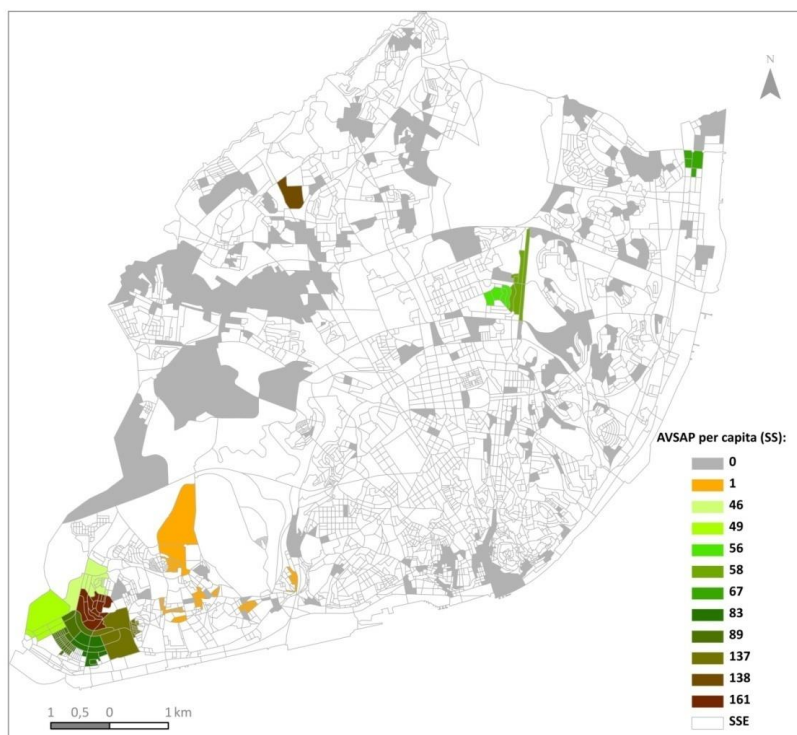


Figura 13- AVSAP *per capita*

#### 4.5. Carência de Espaços Verdes por Área de Não-Vegetação

O cálculo do indicador simples carência de espaços verdes por área de não-vegetação tem como objetivo perceber o tipo de carências de espaços verdes (Figura 14) nas 10 SSE com maior e menor percentagem de área de não-vegetação, pelo que o TOP 10 + e TOP 10 – será o mesmo do indicador área de não-vegetação por SSE (%). Adicionalmente, os dois TOP detêm informação relativa à carência de espaços verdes de cada uma das SSE de forma a proceder-se à análise do indicador.

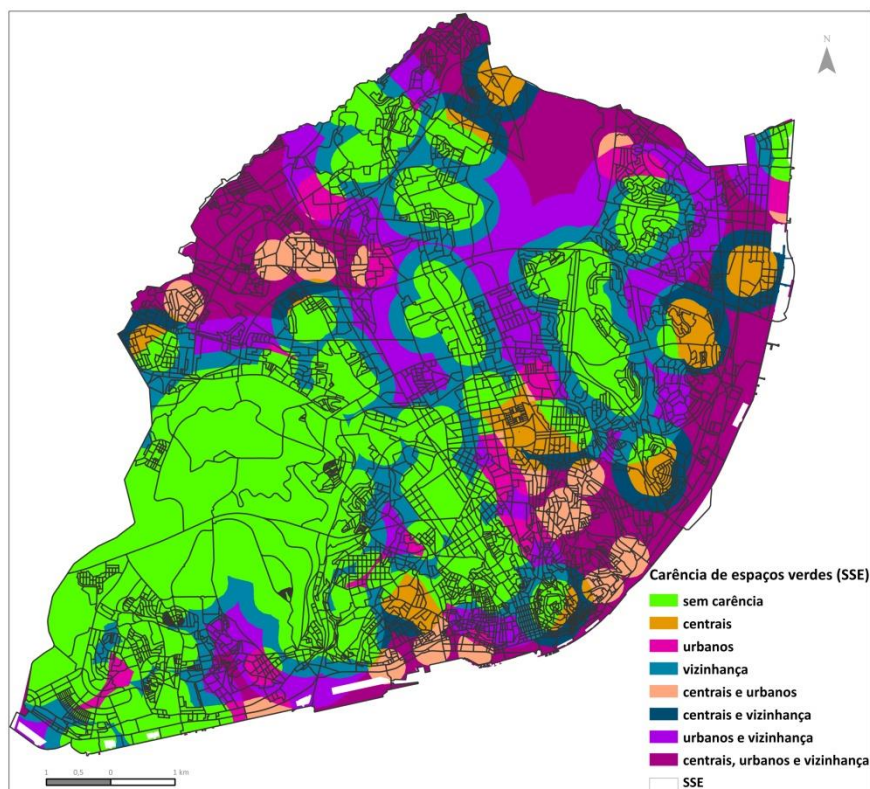


Figura 14- Carência de Espaços Verdes  
(Fonte: CML)

As 10 SSE com maior percentagem de área de não-vegetação (100%) apresentam carências ao nível dos espaços verdes de vizinhança, centrais e urbanos. Estas localizam-se sobretudo na zona histórica central, onde os espaços verdes e as áreas verdes são diminutos pelo que estas carências são notórias (Figura 15). No entanto, existem quatro casos pontuais de SSE com 100% de área de não-vegetação que se apresentam sem carências. Estas apesar de se localizarem em zonas com áreas impermeáveis elevadas são apontadas pela CML como sem carências uma vez que se encontram no raio de influência do Jardim Botânico do Museu Nacional de História Natural (SSE 11061500305), dos jardins do Castelo de S. Jorge e Jardim do Martim Moniz (SSE 11063800105 e 11063800302), e do Parque Florestal de Monsanto (SSE 11061003108).

No que toca às SSE com menor percentagem de área de não-vegetação pode observar-se que estas apresentam-se, como expectável, na sua maioria sem carência de espaços verdes (Tabela 11). No TOP 10 – verificam-se apenas duas SSE com carência de espaços verdes, correspondendo estas a SSE localizadas na freguesia de São João de Brito e Marvila. A SSE de São João de

Brito apesar de apresentar carências de espaços verdes de vizinhança, isto verifica-se apenas numa parte da SSE. A restante área da SSE demonstra-se sem carência de espaços verdes uma vez que ainda se encontra-se no raio de influência de espaços verdes centrais, urbanos e de vizinhança. Quanto à SSE localizada na freguesia de Marvila, que demonstra carência de espaços verdes centrais, urbanos e vizinhança isto ocorre uma vez que a SSE localiza-se na envolvente do viveiro da Quinta das Flores e de jardins privados.

Assim, pode concluir-se que as dez SSE constituídas na sua totalidade por área de não-vegetação necessitam de espaços verdes e as dez SSE com menor área de não-vegetação, ou seja, com maior área de vegetação apresentam-se sem carência de espaços verdes. A zona da Baixa Lisboa apresenta fortes carências pelo que a implementação de espaços verdes de pequena dimensão, tais como espaços verdes de vizinhança, poderá contribuir para reduzir parcialmente essa falha.

Tabela 12- Carência de EV por área de não-vegetação: TOP 10+ e TOP 10-

TOP 10 +			
BGRI11 (SSE)	Freguesia	% Área de não-vegetação	Carência de EV
11061500305	Encarnação	100	Sem carência
11063800105	S. Cristovão e S. Lourenço	100	Sem carência
11061002904	Campolide	100	Vizinhança
11063600304	S. Cristovão e S. Lourenço	100	Centrais, urbanos e vizinhança
11064700302	São Miguel	100	Centrais e vizinhança
11063800302	S. Cristovão e S. Lourenço	100	Sem carência
11061003108	Campolide	100	Sem carência
11061500507	Encarnação	100	Urbanos e vizinhança
11064700407	São Miguel	100	Centrais e vizinhança
11064900103	São Paulo	100	Urbanos e Vizinhança
TOP 10 -			
11060201702	Alcântara	6	Urbanos
11060806312	Benfica	12	Sem carência
11060805703	Benfica	13	Sem carência
11063906005	S. Domingos de Benfica	15	Sem carência
11060806301	Alcântara	16	Sem carência
11060200104	Alcântara	17	Sem carência
11060200101	Alcântara	20	Sem carência
11064600504	São Mamede	6	Sem carência
11064200501	S. João de Brito	22	Vizinhança
11062102804	Marvila	30	Centrais, urbanos e vizinhança

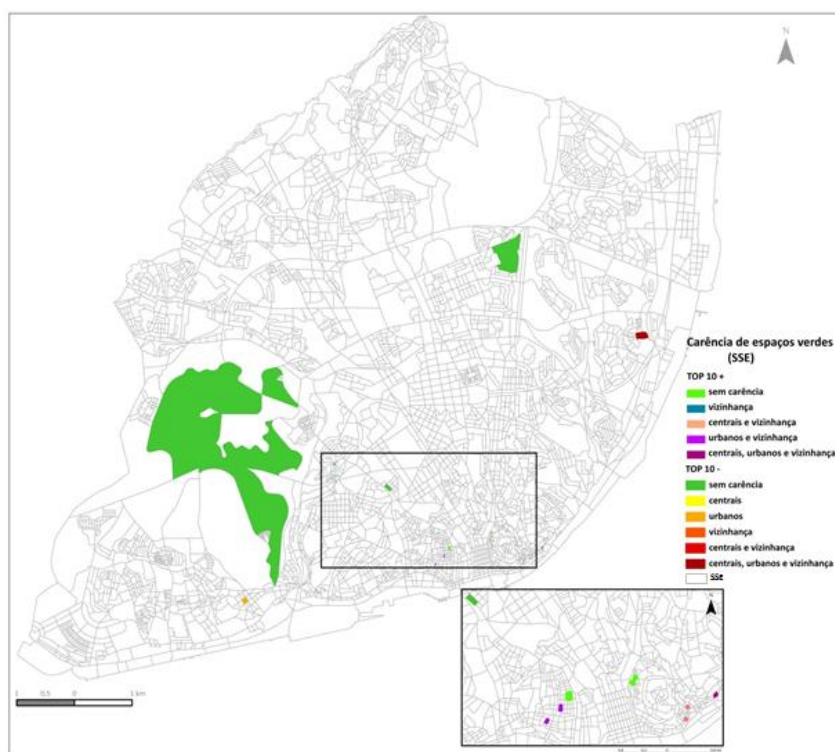


Figura 15- Carência de espaços verdes por área de não-vegetação

#### 4.7. Volume construído *per capita*

TOP 10 + do volume construído *per capita* é constituído por SS da freguesia de Santa Maria dos Olivais, Lumiar, Coração de Jesus, Santa Justa, Campo Grande, Prazeres e Marvila, sendo na freguesia de Coração de Jesus que se localizam mais SS (Tabela 13). O maior volume construído *per capita* verifica-se numa SS de Santa Maria dos Olivais com 14543 m<sup>3</sup>/habitante, onde se observa uma elevada densidade de construção e uma população mais reduzida. Esta SS corresponde ao Parque das Nações onde predominam edifícios de serviços e comércio. O elevado volume construído é ainda justificável, uma vez que nesta SS encontram-se edifícios como a Feira Internacional de Lisboa, o casino de Lisboa e o Centro Comercial Vasco da Gama. A segunda SS com maior volume construído *per capita* localiza-se no Lumiar e detém 6876 m<sup>3</sup>/habitante, notando-se um volume construído elevado uma vez que esta SS corresponde essencialmente à área do Hospital das Forças Armadas, e a população residente corresponde ao valor mais reduzido do TOP 10.

A SS com maior população residente verificada no TOP 10 + localiza-se em Santa Maria dos Olivais e tem 4951 m<sup>3</sup>/habitante sendo o volume construído também elevado. Esta SS corresponde à SSE do aeroporto e às SSE envolventes do mesmo, pelo que o volume *per capita* desta SS é justificável sobretudo pelo elevado volume construído do aeroporto aliado ao reduzido número de residentes das SSE envolventes, que se habitam em apenas duas pequenas áreas na envolvente ao aeroporto (Figura 9).

Quanto as SS que constituem o TOP 10 – de volume construído *per capita* estas localizam-se na freguesia do Lumiar, Campolide, Ajuda, Charneca, Santa Maria dos Olivais, Carnide e Benfica. Os valores de volume construído *per capita* do TOP 10 – variam entre 0 m<sup>3</sup>/habitante e 90 m<sup>3</sup>/habitante. Neste TOP 10 - observa-se ainda que a população residente nas SS é elevada, no entanto, o volume construído é mais reduzido. A SS com 0 m<sup>3</sup>/habitante localiza-se no Lumiar e apresenta este valor uma vez que não possui residentes. As restantes SS localizam-se sobretudo no norte da cidade de Lisboa (Figura 16), e os valores reduzidos de volume *per capita* ocorrem uma vez que nestas SS verifica-se muita população residente e um volume construído reduzido comparativamente às outras SS. É nestas áreas de crescimento da cidade que se encontra uma maior concentração da população e igualmente uma dimensão média de residentes por alojamentos superior.



Figura 16- Exemplo de construção nas freguesias da Charneca, Lumiar e Carnide

Analisando as SS onde há um maior volume *per capita*, pode ainda concluir-se que estas não possuem AVSAP, pelo que ocorre um contraste entre volume construído e áreas verdes. Nestas SS podem ocorrer problemas ao nível das inundações, visto que há uma elevada área impermeável devido à densidade de volume construído e pouca vegetação. A qualidade ambiental destas SS é ainda reduzida.



Tabela 13- Volume *per capita*: TOP 10 + e TOP 10 -

TOP 10 +				
SS	Freguesia	Volume (m <sup>3</sup> )	População Residente	Volume <i>per capita</i> (m <sup>3</sup> /hab.)
110633027	Sta. Maria dos Olivais	2792287	192	14543
110611008	Lumiar	226889	33	6875
110614008	Coração de Jesus	607967	96	6333
110614011	Coração de Jesus	779200	130	5994
110631003	Santa Justa	819169	153	5354
110633001	Sta. Maria dos Olivais	2906149	587	4951
110609012	Campo Grande	1249076	302	4136
110614002	Coração de Jesus	624018	162	3852
110626013	Prazeres	1033471	283	3652
110621012	Marvila	1040743	297	3504
TOP 10 -				
110618012	Lumiar	7042	0	0
110610016	Campolide	34738	493	71
110610013	Campolide	38797	524	74
110601007	Ajuda	70181	845	83
110613007	Charneca	63066	753	84
110633028	Sta. Maria dos Olivais	48789	579	84
110618030	Lumiar	54358	639	85
110611004	Carnide	45551	534	85
110608065	Benfica	73971	820	90
110611013	Carnide	79126	876	90

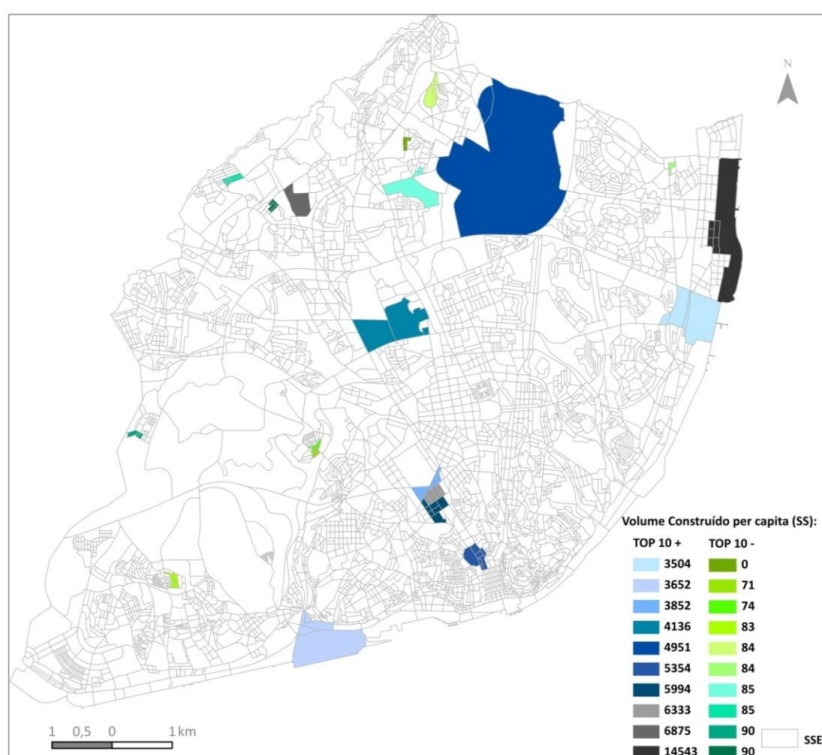


Figura 17- Volume construído *per capita* (SS)



#### **4.8. Relação Volume Construído- Espaços verdes (%)**

A análise da relação entre o volume construído e os espaços verdes recai sobre as 10 SSE que têm o maior volume construído e as 10 SSE que possuem o menor valor daquele indicador simples. As SSE que não contêm volume construído não foram contabilizadas na análise.

No TOP 10 + de volume construído é perceptível que as SSE contêm percentagens de espaços verdes bastante reduzidas, chegando algumas a ter 0 % de espaços verdes. A SSE com maior volume construído, localizada na freguesia de Santa Maria dos Olivais e correspondente a SSE do aeroporto (Figura 9) detém 28% de espaços verdes. A segunda SSE com maior volume construído que diz respeito ao Parque das Nações (Figura 18) demonstra uma percentagem reduzida de espaços verdes (6%). As restantes percentagens reduzidas de espaços verdes verificam-se nas SSE localizadas no Lumiar e Marvila com 0%, 4% e 8%. Observa-se ainda que é na SSE situada no Campo Grande, com um volume de 646453 m<sup>3</sup>, que a percentagem de espaços verdes é maior (73%) (Tabela 14), correspondendo esta à zona das faculdades onde apesar do volume ser elevado os espaços verdes também prevalecem. As SSE com maior volume construído além de possuírem uma percentagem reduzida de espaços verdes, na sua maioria também não possuem AVSAP. Ainda de destacar que as SSE com maior volume construído localizam-se sobretudo a norte e nordeste da cidade de Lisboa (Figura 19).



Figura 18- Parque das Nações (Áreas construídas)

Relativamente ao TOP 10 – das SSE com menor volume construído as percentagens de espaços verdes na sua maioria são elevados, verificando-se caso pontuais onde estas são mais reduzidas. A SSE com menor volume construído, situada na freguesia de Santa Maria de Belém, correspondente ao Jardim da Praça Afonso de Albuquerque caracteriza-se por uma baixa volumetria, e detém 61% de espaços verdes. A SSE localizada em Marvila com um volume de 458 m<sup>3</sup> é a que tem uma maior percentagem de espaços verdes (85%). De destacar ainda a SSE localizada em Santa Maria dos Olivais com 478 m<sup>3</sup> e uma 82% de espaços verdes. A menor percentagem de espaços verdes corresponde a SSE que não dispõe área de espaços verdes.

Tabela 14- Relação volume construído - espaços verdes: TOP 10 + e TOP 10 -

TOP 10 +				
BGRI11 (SSE)	Freguesia	Volume SSE (m <sup>3</sup> )	Área EV (m <sup>2</sup> )	EV (%)
11063300101	St <sup>a</sup> . Maria dos Olivais	2795232	1030453	28
11063302701	St <sup>a</sup> . Maria dos Olivais	2397762	45828	6
11063900902	S. Domingos de Benfica	1245680	17863	11
11061103101	Carnide	1223650	118337	28
11061806301	Lumiar	1050691	8206	4
11062100701	Marvila	793644	8400	4
11062103501	Marvila	780651	849	0
11062101203	Marvila	689576	29598	8
11060901201	Campo Grande	646453	229566	73
11060202001	Alcântara	620581	1576	1
TOP 10 -				
11063200909	St <sup>a</sup> . Maria de Belém	72	85037	68
11063300601	St <sup>a</sup> . Maria dos Olivais	220	37394	74
11061000907	Campolide	305	146	13
11060200118	Alcântara	437	0	0
11062104401	Marvila	457	81470	85
11060200120	Alcântara	461	0	0
11063304101	St <sup>a</sup> . Maria dos Olivais	478	41156	82
11060100606	Ajuda	487	0	0
11062104801	Marvila	599	482	2
11060100301	Ajuda	647	6627	50

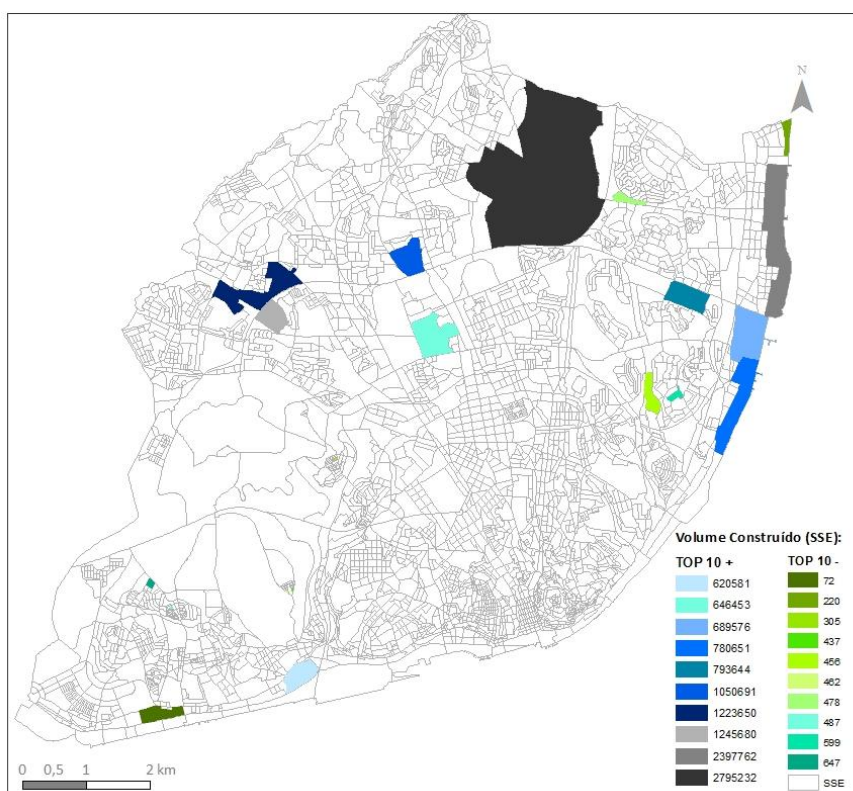


Figura 19- Volume construído (SSE)

#### **4.9. Relação Volume Construído- Carência de Espaços Verdes**

As SSE que constituem TOP 10 + de volume construído localizam-se na freguesia de Santa Maria dos Olivais, São Domingos de Benfica, Carnide, Lumiar, Marvila, Campo Grande e Alcântara, sendo na freguesia de Marvila que se observam mais SSE (Tabela 15). Numa análise global é perceptível que as carências nestas SSE são sobretudo ao nível dos espaços verdes urbanos e de vizinhança, exceto as SSE localizadas na freguesia de Marvila (Figura 20). A SSE com maior volume construído, 2795232 m<sup>3</sup>, localiza-se em Santa Maria dos Olivais (Figura 18) e demonstra carências ao nível dos espaços verdes urbanos e de vizinhança. As SSE localizadas na freguesia de Marvila com um volume de 793644 m<sup>3</sup>, 780651 m<sup>3</sup> e 689576 m<sup>3</sup> contêm carências de espaços verdes de vizinhança e centrais, urbanos e vizinhança. Nestas SSE o volume de construção é denso e os espaços verdes são escassos, correspondendo assim às SSE com menor percentagem de espaços verdes do TOP 10 + do indicador relação volume construído – espaços verdes (%). Para suprir parcialmente as carências de espaços verdes nestas SSE é necessária a execução de espaços verdes de pequena dimensão, tais como de vizinhança e urbanos.

Relativamente ao TOP 10 – as SSE que o constituem localizam-se na freguesia Santa Maria de Belém, Santa Maria dos Olivais, Campolide, Alcântara e Marvila. Nestas SSE, em que o volume construído é mais reduzido, as carências de espaços verdes na sua maioria não se observa.

Através da análise desta relação, pode ainda concluir-se que apesar das SSE com maior volume construído serem carenciadas de espaços verdes, estas carências são ao nível dos espaços verdes de menor dimensão. Estas SSE são abrangidas, na sua maioria, por espaços verdes centrais.

Tabela 15- Relação volume construído - carência de espaços verdes: TOP 10 + e TOP 10 -

TOP 10 +			
BGRI11 (SSE)	Freguesia	Volume SSE (m <sup>3</sup> )	Carência EV
11063300101	St <sup>a</sup> . Maria dos Olivais	2795232	Urbanos e vizinhança
11063302701	St <sup>a</sup> . Maria dos Olivais	2397762	Urbanos e vizinhança
11063900902	S. Domingos de Benfica	1245680	Urbanos e vizinhança
11061103101	Carnide	1223650	Urbanos e vizinhança
11061806301	Lumiar	1050691	Urbanos e vizinhança
11062100701	Marvila	793644	Vizinhança
11062103501	Marvila	780651	Centrais, urbanos e vizinhança
11062101203	Marvila	689576	Centrais, urbanos e vizinhança
11060901201	Campo Grande	646453	Urbanos e vizinhança
11060202001	Alcântara	620581	Urbanos e vizinhança
TOP 10 -			
11063200909	St <sup>a</sup> . Maria de Belém	72	Sem carência
11063300601	St <sup>a</sup> . Maria dos Olivais	220	Sem carência
11061000907	Campolide	305	Sem carência
11060200118	Alcântara	437	Sem carência
11062104401	Marvila	458	Urbanos e vizinhança
11060200120	Alcântara	462	Sem carência
11063304101	St <sup>a</sup> . Maria dos Olivais	478	Vizinhança
11060100606	Ajuda	487	Sem carência
11062104801	Marvila	599	Urbanos e vizinhança
11060100301	Ajuda	647	Sem carência

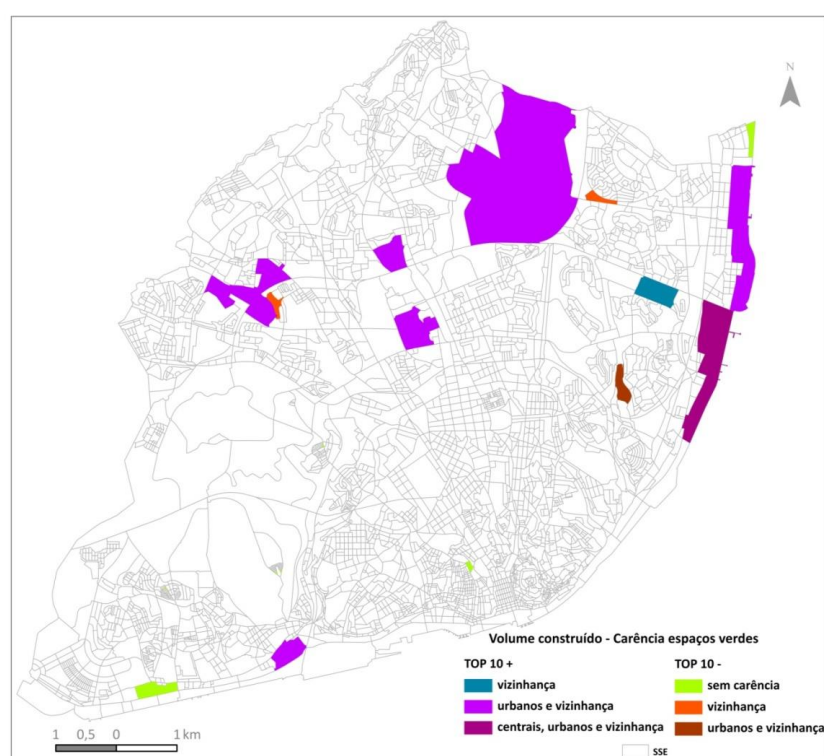


Figura 20- Relação volume construído- carência de espaços verdes

#### **4.10. Relação Volume Construído- AVSAP (%)**

Ao relacionar o volume construído com AVSAP observa-se que a percentagem de AVSAP é sempre bastante reduzida quer nas SSE com maior volume construído quer nas SSE com menor volume construído.

No TOP 10 + a SSE com maior volume construído (SSE correspondente ao aeroporto- Figura 9) contém apenas 0% de AVSAP. A maior percentagem de AVSAP neste TOP corresponde 3% na SSE, com 620581 m<sup>3</sup>, localizada na freguesia de Alcântara. Nas SSE localizadas na freguesia de São Domingos de Benfica com 1245680 m<sup>3</sup> que corresponde ao Estádio da Luz e a área envolvente, e na freguesia do Lumiar com 1050691 m<sup>3</sup> as AVSAP apresentam-se com 0% (Tabela 16).

Relativamente ao TOP 10 – as percentagens também são reduzidas, verificando-se um grande número de SSE com 0% de AVSAP. A SSE com menor volume construído situada na freguesia de Santa Maria de Belém e não detém AVSAP. É na SSE localizada na Ajuda que a percentagem de AVSAP é maior (16%), correspondendo esta a um volume 487 m<sup>3</sup>.

Tabela 16- Relação volume - AVSAP: TOP 10 + e TOP 10 -

TOP 10 +				
BGRI11 (SSE)	Freguesia	Volume (m <sup>3</sup> )	AVSAP (m <sup>2</sup> )	AVSAP (%)
11063300101	St. <sup>a</sup> . Maria dos Olivais	2795232	16754	0
11063302701	St. <sup>a</sup> . Maria dos Olivais	2397762	1006	0
11063900902	S. Domingos de Benfica	1245680	29	0
11061103101	Carnide	1223650	4144	1
11061806301	Lumiar	1050691	5	0
11062100701	Marvila	793644	2611	1
11062103501	Marvila	780651	486	0
11062101203	Marvila	689576	3734	1
11060901201	Campo Grande	646453	1276	0
11060202001	Alcântara	620581	4325	3
TOP 10 -				
11063200909	St. <sup>a</sup> . Maria de Belém	72	0	0
11063300601	St. <sup>a</sup> . Maria dos Olivais	220	0	0
11061000907	Campolide	305	0	0
11060200118	Alcântara	437,	97	11
11062104401	Marvila	458	0	0
11060200120	Alcântara	462	74	8
11063304101	St. <sup>a</sup> . Maria dos Olivais	478	51	0
11060100606	Ajuda	487	147	16
11062104801	Marvila	599	607	3
11060100301	Ajuda	647	45	0

#### 4.11. Discussão dos resultados

##### Indicadores de área

Ao analisar os indicadores de área extraídos pode concluir-se que estes apresentam diversas tendências. Avaliando as Áreas de Vegetação é perceptível que as SSE que detêm as maiores percentagens localizam-se sobretudo no Parque Florestal de Monsanto, Parque da Tapada da Ajuda e nas SSE envolventes. No que toca às áreas com menor permeabilidade estas observam-se nas SSE do centro histórico da cidade de Lisboa. Relativamente às áreas de não-vegetação as SSE com os valores mais elevados correspondem a SSE localizadas essencialmente no centro histórico de Lisboa que se apresenta com uma elevada densidade de edifícios. É ainda de destacar que as SSE com maior percentagem de área de não-vegetação apresentam carências de espaços verdes ao nível dos espaços verdes centrais, urbanos e de vizinhança, enquanto

as que detêm menor percentagem de área de não-vegetação apresentam-se na sua maioria sem carências.

Os maiores valores de vegetação *per capita* localizam-se em SS da zona ocidental de Lisboa onde a vegetação é abundante, sendo estas constituídas essencialmente por espaços verdes e poucos edifícios. Nas SS onde os resultados da vegetação *per capita* são mais elevados a população residente é reduzida. Muitas destas SS correspondem assim a áreas do Parque Florestal de Monsanto, Parque da Tapada da Ajuda, Jardim Zoológico, Espaço verde do Hospital de Santa Maria onde a vegetação é abundante e o número de residente reduzido.

As SSE com maior área verde que não possui acesso público (as AVSAP) repartem-se sobretudo pela freguesia de Santa Maria de Belém e São Francisco Xavier já que nestas freguesias verifica-se um número considerável de logradouros. Quanto às SSE que não detêm qualquer área verde sem acesso público pode observar-se que estão distribuídas por toda a cidade de Lisboa, no entanto e tal como nos outros indicadores, as SSE na baixa lisboeta na sua maioria não possuem AVSAP, devido à elevada densidade de alojamentos.

### **Indicadores de Volume**

Ao analisar as SSE com maior volume construído pode aferir-se que a percentagem de espaços verdes nestas é bastante reduzida, possuindo muitas delas 0% de espaços verdes e contendo carências de espaços verdes urbanos e de vizinhança. As SSE com maior volume construído localizam-se sobretudo a norte e nordeste da cidade de Lisboa, indo de encontro às zonas onde a carência de espaços verdes é mais elevada.

Por outro lado, nas SSE onde o volume construído é diminuto a percentagem de espaços verdes é maioritariamente elevada e não existem carências.

Assim, e fazendo uma avaliação global é perceptível que as freguesias centrais de Lisboa, sobretudo as de construção mais antiga apresentam uma



elevada densidade de alojamentos, pelo que as áreas verdes são bastante reduzidas ou nulas. Este modelo denso e intenso traduz-se na concentração de problemas relativamente aos espaços verdes e áreas verdes sem acesso público. Estas áreas estão deste modo sujeitas a um elevado risco de inundação já que possuem na sua maioria solo impermeável, que aliado à proximidade com o Rio Tejo aumenta o seu risco. É notória ainda a dualidade centro/periferia no que respeita aos indicadores relacionados com a população em que esta aumenta do centro para periferia. A distribuição de áreas verdes na cidade não é homogénea, verificando-se a existência espaços verdes de uso público de diversas dimensões, e outras áreas verdes de menor dimensão de caráter privado. No entanto, estes espaços verdes quer públicos quer privados têm um forte impacto no clima e na redução da poluição atmosférica.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cálculo de indicadores urbanos reflete dados que permitem perceber as tendências do território e que podem ser utilizados para diminuir as debilidades e potenciar as mais-valias do planeamento, tal como as áreas mais suscetíveis a inundações e as áreas com maior qualidade ambiental. O conjunto de indicadores urbanos proposto permite criar um sistema de indicadores que, sendo estruturado de acordo com as necessidades, permite criar uma base adaptável a diversos locais de forma a entender o território.

A metodologia aplicada para extração de indicadores urbanos do tipo 2D e 3D com o objetivo de criar um sistema de indicadores urbanos foi alcançada com sucesso. Através da aplicação metodológica foi possível adquirir informação relativa às áreas permeáveis, áreas menos permeáveis, áreas verdes sem acesso público, e do volume construído da cidade de Lisboa. Relacionando a informação obtida com dados relativos à população obteve-se um conjunto de indicadores que foram agrupados num sistema, quer pelo tema área ou por volume.

Quanto aos dados utilizados, não estando estes todos datados no mesmo ano os resultados não são precisos para uma data específica. A dificuldade de obter informação recente para calcular os indicadores levou a que fossem utilizados dados de datas diferentes, no entanto, sempre os dados mais atualizados.

Os resultados obtidos permitem relacionar as áreas verdes, a população e o volume construído. Através dos resultados é possível concluir que as maiores áreas verdes localizam-se no Parque Florestal de Monsanto e nas zonas adjacentes, desempenhando estas áreas uma importante função ecológica, sobretudo na conservação da biodiversidade e qualidade do ambiente. Os espaços verdes estão bem distribuídos por toda a cidade e estes são menores ou nulos onde o volume construído é elevado, notando carência ao nível dos mesmos sobretudo na zona noroeste da cidade e na zona histórica central. As carências são sobretudo de espaços verdes de menor dimensão,

pelo que a construção de espaços verdes de desafogo urbano pode reduzir essa falha. As áreas verdes sem acesso público localizam-se nas SSE onde há abundância de habitações unifamiliares e logradouros, notando-se nestas áreas uma maior qualidade ambiental.

A zona norte, noroeste e o centro histórico da cidade de Lisboa, maioritariamente a Baixa lisboeta deparam-se com problemas relativamente às áreas verdes e ao volume construído. Nestas zonas, o volume construído e as áreas impermeáveis são elevadas e há uma elevada carência de espaços verdes e de áreas verdes sem acesso público. Estas áreas estão fortemente suscetíveis à ocorrência de inundações, sendo a qualidade ambiental mais reduzida. Notando-se que nas restantes SSE da cidade os resultados são equilibrados.

A metodologia proposta, assente na exploração de dados obtidos por DR, revelou a utilidade e eficácia desta fonte de informação para o planeamento urbano. As imagens de satélite utilizadas permitiram detalhe e rapidez na aquisição de informação temática que serve de base ao cálculo dos indicadores. Do mesmo modo, os dados LiDAR permitiram obter informação altimétrica de difícil acesso e muitas vezes não existente, como a altura dos edifícios, também de uma forma rápida e precisa. O sistema de indicadores proposto é uma ferramenta útil para todos os que se trabalham sobre a cidade ou se interessam por ela, permitindo avaliar parâmetros inéditos como o volume construído e a sua relação com a área de vegetalizada e os habitantes.

A exploração de um sistema de indicadores como o aqui proposto, poderá ser útil na investigação de temáticas ligadas à sustentabilidade urbana, tais como o conforto e qualidade de vida, ou a eficiência energética em meio urbano.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alibegović, D. J., & Villa, Ž. K. D. (2008). The role of urban indicators in city management: a proposal for Croatian cities. *Transition Studies Review*, 15(1), 63–80.
- Brito, M. C., Gomes, N., Santos, T., & Tenedório, J. A. (2012). Photovoltaic potential in a Lisbon suburb using LiDAR data. *Solar Energy*, 86(1), 283–288.
- Blaschke, T., Strobl, J. (2001). What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS. *GeoBIT/GIS*, 6: 12-17.
- Button, K. (2002). City management and urban environmental indicators. *Ecological Economics*, 40(2), 217–233.
- Cameron, R. W. F., Blanuša, T., Taylor, J. E., Salisbury, A., Halstead, A. J., Henricot, B., & Thompson, K. (2012). The domestic garden – Its contribution to urban green infrastructure. *Urban Forestry & Urban Greening*, 11(2), 129–137.
- Carneiro, C., Morello, E., Desthieux, G., & Golay, F. (2010). Extracting urban environment quality indicators using georeferenced data and image processing techniques (pp. 1–6). Presented at the 13th AGILE International Conference on Geographic Information Science 2010, Guimarães, Portugal.
- Catita, A., Caldeira, J., Vilares, E. (2011). *Sistema de Nacional de Indicadores e Dados-Base sobre Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano: 2º Relatório de Progresso*, Direção-Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano, Lisboa, Portugal.
- C. Palmer, T., & Shan, J. (2002). A Comparative Study on Urban Visualization Using LIDAR Data in GIS. *URISA Journal*, pp. 19–25.
- Donnay, J.-P., Barnsley, M., & Longley, P. (2001). Remote Sensing and Urban Analysis. Ian Masser and François Salgé.
- Doesburg, S. M., & Farinha-Marques, P. (2014). “Marginal” Urban Vegetation - The Case of Lisbon. *Nordic Journal of Architectural Research*, 25(2).

- Dunnett, N., Swanwick, C., Woolley, H., & Britain, G. (2002). *Improving urban parks, play areas and green spaces*. Department for transport, local government and the regions London.
- Eckert, S. (2012). Improved Forest Biomass and Carbon Estimations Using Texture Measures from WorldView-2 Satellite Data. *Remote Sensing*, 4(4), 810–829.
- Elaksher, A., & Bethel, J. (2002). Reconstructing 3D Buildings From LIDAR Data. School of Civil Engineering, Purdue University, 1284 Civil Engineering Building, West Lafayette, USA.
- Encarnação, S. A. A. (2011). *Espaço geográfico e complexidade: modelação do crescimento das áreas construídas na aglomeração de Lisboa* (Dissertação de Doutoramento). Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Esch, T., Taubenböck, H., Heldens, W., Wurm, M., & Dech, S. (2010). Urban remote sensing How can earth observation support the sustainable development of urban environments? *46th ISOCARP Congress*.
- Farinha, J. (2014). *Diagnóstico do Estado do Ambiente do Município de Odivelas: Volume 1 Relatório do Diagnóstico das Freguesias e do Concelho de Odivelas*. Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente -Centro de Estudos sobre Cidades e Vilas Sustentáveis.
- Fonseca, A. D., & Fernandes, J. C. (2004). *Detecção remota*. Lisboa: Lidel.
- Freire, S. (2010). Modeling of Spatiotemporal Distribution of Urban Population at High Resolution – Value for Risk Assessment and Emergency Management. In M. Konecny, S. Zlatanova, & T. L. Bandrova (Eds.), *Geographic Information and Cartography for Risk and Crisis Management* (pp. 53–67). Springer Berlin Heidelberg.
- Freire, S., & Gomes, N. (2013). Advancing environmental noise pollution analysis in urban areas by considering the variation of population exposure in space and time. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-4/W1, 155–160.
- Freire, S. & Aubrecht, C. (2010). Towards improved risk assessment—mapping spatio-temporal distribution of human exposure to earthquake hazard in the Lisbon

Metropolitan Area. *Proceedings of Gi4DM 2010, International Symposium on Geoinformation for Disaster Management*, Torino.

Gomes, N. M. P. (2011). *Integração de dados LIDAR com imagens de muito alta resolução espacial para determinação de áreas urbanas com potencial solar* (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

González-Aguilera, D., Crespo-Matellán, E., Hernández-López, D., & Rodríguez-Gonzálvez, P. (2013). Automated Urban Analysis Based on LiDAR-Derived Building Models. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 51(3), 1844–1851.

Grupo de Missão Biodiversidade 2020 (2012). *Biodiversidade na cidade de Lisboa: uma estratégia para 2020*, Câmara Municipal de Lisboa, Lisboa.

Herold, M., Liu, X., & Clarke, K. (2003, Setembro). Spatial Metrics and Image Texture for Mapping Urban Land Use. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, pp. 1991–1001.

Holden, M. (2006). Urban indicators and the integrative ideals of cities. *Cities*, 23(3), 170–183.

Huang, X., & Zhang, L. (2012). Morphological Building/Shadow Index for Building Extraction From High-Resolution Imagery Over Urban Areas. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 5(1), 161–172.

James, P., Tzoulas, K., Adams, M. D., Barber, A., Box, J., Breuste, J., Ward Thompson, C. (2009). Towards an integrated understanding of green space in the European built environment. *Urban Forestry & Urban Greening*, 8(2), 65–75.

Kraub, T., & Reinartz, P. (2010). Urban object detection using a fusion approach of dense urban digital surface models and VHR optical satellite stereo data (Vol. 38). Presented at the ISPRS Istanbul Workshop 2010, WG I/4, Istanbul, Turkey.

Laan, V. D. (2009). *Scaling urban energy use and greenhouse gas emissions through LiDAR* (Dissertação de Mestrado). The University of British Columbia, Vancouver.

- Lin, W.M. (2004). *Constructing a GIS-Based 3D Urban Model Using LiDAR and Aerial Photographs* (Dissertação de Mestrado). Fu-Jen Catholic University Taiwan.
- Madureira, H. (2013). Revitalizar a cidade pelo planeamento da estrutura verde. *XIII Coloquio Ibérico de Geografía*, Santiago de Compostela.
- Magarotto, M. (2012). *Sistemas de Informação Geográfica Orientadas para o Ordenamento do Litoral* (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Maktav, D., Jurgens, C., Siegmund, A., Sunar, F., Esbah, H., Kalkan, K., ... Wolf, N. (2011). Multi-criteria spatial decision support system for valuation of open spaces for urban planning. In *2011 5th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST)* (pp. 160–163).
- Mathieu, R., Freeman, C., & Aryal, J. (2007). Mapping private gardens in urban areas using object-oriented techniques and very high-resolution satellite imagery. *Landscape and Urban Planning*, 81(3), 179–192.
- Mutanga, O., Adam, E., & Cho, M. A. (2012). High density biomass estimation for wetland vegetation using WorldView-2 imagery and random forest regression algorithm. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 18, 399–406.
- Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Europeu (1993). *OCDE Environmental Indicators: Development, Measurement and Use*. Paris
- Pham, H. M., Yamaguchi, Y., & Bui, T. Q. (2011). A case study on the relation between city planning and urban growth using remote sensing and spatial metrics. *Landscape and Urban Planning*, 100(3), 223–230.
- Rebelo, C., Rodrigues, A. M., Neves, B., Tenedório, J.A. & Gonçalves, J.A. (2013). Extraction of urban parameters from 3D Point-Cloud within GRASS. In *Proceedings of the VII Jornadas de SIG Libre, Servei de Sistemes D'Informació Geogràfica I Telederecció*, Universitat de Girona, 10 pp. (online) ISBN: 978-84-694-1624-2
- Rottensteiner, F., & Briese, C. (2002). A New Method For Building Extraction In Urban Areas From High-Resolution LIDAR Data. *Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, Vienna University of Technology*.

- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W. (1973). Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. *3rd ERTS Symposium*, 1: 48-62.
- Rozenstein, O., & Karnieli, A. (2011). Comparison of methods for land-use classification incorporating remote sensing and GIS inputs. *Applied Geography*, pp. 533–544.
- Russell G., Congalton, K. G. (2009). Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data - Principles and Practices Second edition (2009) CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton. *Int. J. Applied Earth Observation and Geoinformation*, 11, 448–449.
- R. Price, R. & Price, K. (2009). Remote Sensing Imagery in Agriculture: Image Conversion to NDVI. *Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service*.
- Santos, T. (2011). *A methodology to produce geographical information for land planning using VHR images* (Dissertação de Doutoramento). Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- Santos, T., & Freire, S. (2013). Improving flood risk management in the city of Lisbon: developing a detailed and updated map of imperviousness using satellite imagery. *Topics in Medical Image Processing and Computational Vision*, J.M. Tavares, R.M Natal Jorfe (Ed.), Springer Science.
- Santos, T., & Freire, S. (2012). Comparing Land Cover Maps Obtained From Remote Sensing For Deriving Urban Indicators. *Computational Modeling of Objects Presented in Images- CompIMAGE2012*.
- Santos, T., Freire, S., & Tenedório, J. A. (2011). Using Geographic Information to Assess Urban Environmental Indicators in the City of Lisbon. In *ECIME2011*. Como, Itália.
- Santos, T., Tenedório, J. A., & Rodrigues, A. (2013). Análise da volumetria do edificado em meio urbano. Presented at *the Congresso Geografia Portuguesa*, Évora.
- Santos, T., Rodrigues, A. ., & Tenedório, J. A. (2013). Characterizing Urban Volumery Using LiDAR Data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-4/W1.



- Santos, T., Freire, S., Fonseca, A., & Tenedório, J. A. (2011). Producing a Building Change Map for Urban Management. *EARSeL eProceedings*, 10 (56-59).
- Santos, T., Gomes, N., Freire, S., Brito, M. C., Santos, L., & Tenedório, J. A. (2014). Applications of solar mapping in the urban environment. *Applied Geography*, 51, 48–57.
- Sarmiento, C. A. (2010). *Contributo dos dados lidar para o inventário florestal municipal* (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Silva, R. E. L.. (2012). *Análise espacial da forma urbana em sistemas de informação geográfica* (Dissertação de Doutoramento). Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kaźmierczak, A., Niemela, J., & James, P. (2007). Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review. *Landscape and Urban Planning*, 81(3), 167–178.
- Tooke, T. R., Coops, N. C., Goodwin, N. R., & Voogt, J. A. (2009). Extracting urban vegetation characteristics using spectral mixture analysis and decision tree classifications. *Remote Sensing of Environment*, 113(2), 398–407.
- Vilares, E. (2010). *Sistema de Nacional de Indicadores e Dados-Base sobre Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano: Análise Exploratória de sistemas de indicadores como instrumento na avaliação de políticas públicas*. Direção-Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano, Lisboa, Portugal.
- Voegtli, T., Steinle, E., & Tóvári, D. (2005). Airborne Laserscanning Data For Determination Of Suitable Areas For Photovoltaics. *ISPRS WG III/3, III/4, V/3*, 12–14.
- Vozikis, G. 2004. Urban Data Collection: An Automated Approach in Remote Sensing. *24th Urban Data Management Symposium, Information Systems and the Delivery of Societal Benefits*, Chioggia, Venice.
- Weng, Q. (2012). Remote sensing of impervious surfaces in the urban areas: Requirements, methods, and trends. *Remote Sensing of Environment*, 117, 34–49.

- Westfall, M. S., & Villa, V. A. D. (Eds.). (2001). *Urban Indicators for Managing Cities: Cities Data Book*. Manila, Philippines: Asian Development Bank.
- Xiao, Y., & Zhan, Q. (2009). A review of remote sensing applications in urban planning and management in China. In *Urban Remote Sensing Event, 2009 Joint* (pp. 1–5).
- Yu, B., Liu, H., Wu, J., Hu, Y., & Zhang, L. (2010). Automated derivation of urban building density information using airborne LiDAR data and object-based method. *Landscape and Urban Planning*, pp. 210–219.
- Zhou, X., Jancsó, T., Chen, C., & Verhoné, M. W. (2012). Urban land cover mapping based on object oriented classification using WorldView 2 satellite remote sensing images. In *International Scientific Conference on Sustainable Development & Ecological Footprint*.

#### **Legislação consultada:**

Regulamento da revisão do Plano Diretor Municipal (2012)- <http://www.cm-lisboa.pt/viver/urbanismo/planeamento-urbano/plano-diretor-municipal> (acedido a 3 de Maio de 2014)

#### **Sites Consultados:**

<http://smi.ine.pt/Conceito/Detalhes/1926>- acedido a 25 de Agosto de 2014

<http://smi.ine.pt/Conceito/Detalhes?id=340&lang=PT> - acedido a 25 de Agosto de 2014

[http://www.cm-odivelas.pt/extras/pdm/anexos/relatorio\\_estado\\_ambiente.pdf](http://www.cm-odivelas.pt/extras/pdm/anexos/relatorio_estado_ambiente.pdf)- acedido a 29 de Outubro de 2014

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Critérios de definição dos indicadores do sistema de indicadores Português (Fonte: Catita et al, 2011) .....	19
Figura 2- Área de estudo para extração de indicadores .....	23
Figura 3- Fluxograma com a metodologia de extração de indicadores urbanos .....	28
Figura 4- Imagens NDVI (original e reclassificada) .....	30
Figura 5- Mapa de referência para a vegetação na freguesia de Alvalade .....	31
Figura 6- Tipo de construção nas freguesias do Beato, Penha de França, São Vicente e São Nicolau .....	42
Figura 7- Área de vegetação (%).....	44
Figura 8- Área de Não-Vegetação (%) .....	46
Figura 9- Subsecções referentes ao aeroporto .....	48
Figura 10- Vegetação <i>per capita</i> .....	49
Figura 11- AVSAP .....	51
Figura 12- Tipo de construção/moradia no Bairro do Restelo .....	52
Figura 13- AVSAP <i>per capita</i> .....	54
Figura 14- Carência de Espaços Verdes .....	55
Figura 15- Carência de espaços verdes por área de não-vegetação .....	57
Figura 16- Exemplo de construção nas freguesias da Charneca, Lumiar e Carnide.....	59
Figura 17- Volume construído <i>per capita</i> (SS).....	60
Figura 18- Parque das Nações (Áreas construídas) .....	62
Figura 19- Volume construído (SSE) .....	63
Figura 20- Relação volume construído- carência de espaços verdes.....	65

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Tipologia dos espaços verdes de Lisboa .....	9
Tabela 2- Características dos dados .....	24
Tabela 3- Espaços verdes (informação dos ficheiros digitais da CML).....	25
Tabela 4- Características WV-2.....	26
Tabela 5- Matriz de erro do método de extração automática de vegetação .....	32
Tabela 6- Estrutura do Sistema de indicadores.....	39
Tabela 7- Área de vegetação (%): TOP 10 + e TOP 10 – .....	43
Tabela 8- Área de não-vegetação (%): TOP 10 + e TOP 10 –.....	45
Tabela 9- Vegetação <i>per capita</i> : TOP 10 + e TOP 10 - .....	48
Tabela 10- AVSAP: TOP 10 + .....	50
Tabela 11- Carência de EV por área de não-vegetação: TOP 10+ e TOP 10- .....	56
Tabela 12- AVSAP <i>per capita</i> : TOP 10 + e TOP 10 - .....	53
Tabela 13- Volume <i>per capita</i> : TOP 10 + e TOP 10 - .....	60
Tabela 14- Relação volume construído - espaços verdes: TOP 10 + e TOP 10 - .....	63
Tabela 15- Relação volume construído - carência de espaços verdes: TOP 10 + e TOP 10 - .....	65
Tabela 16- Relação volume - AVSAP: TOP 10 + e TOP 10 -.....	67